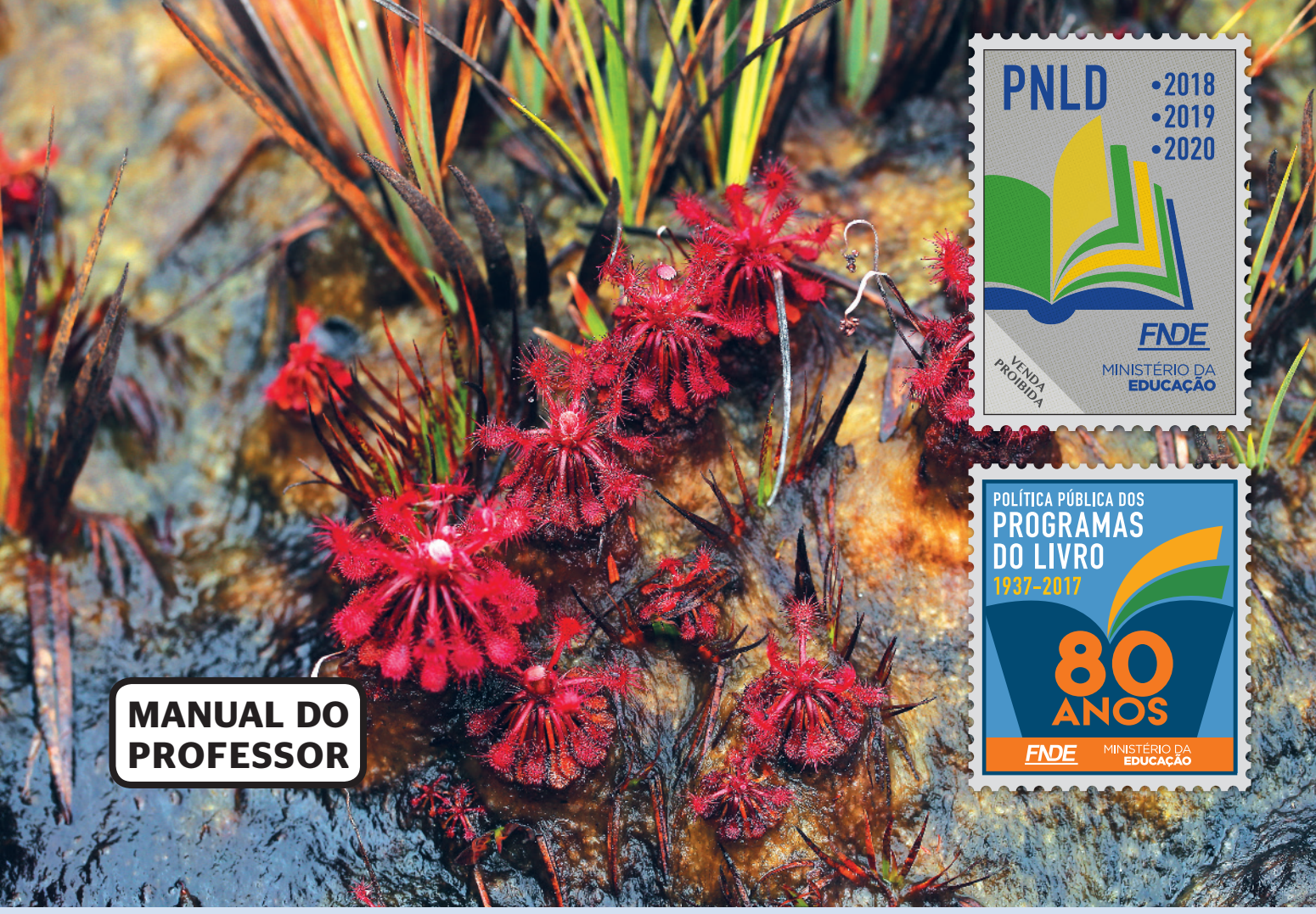


MANUAL DO PROFESSOR

José Mariano Amabis
Gilberto Rodrigues Martho

Biologia moderna

Amabis & Martho

1
ENSINO MÉDIO

Componente curricular:
BIOLOGIA

MODERNA

Educador,

Este livro que você está recebendo integra o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD). Trata-se de um conteúdo que passou por uma criteriosa avaliação do Ministério da Educação, para disponibilizar às escolas públicas brasileiras um material de qualidade.

É importante lembrar que este livro é reutilizável, ou seja, deve ser recolhido ao final do ano letivo para a utilização no próximo ano até a conclusão do ciclo, no final de 2020. Assim, recomenda-se que seja abordada em sala de aula a importância da conservação do livro para a utilização durante todo o ciclo. No caso deste manual, no caso de mudança do professor, é importante que o material permaneça na escola.

Por fim, caso você identifique alguma inconsistência neste material, ela pode ser comunicada ao FNDE por meio do telefone 0800-616161 ou no contato constante em www.fnde.gov.br/programas/livro-didatico.

Bom trabalho!

FNDE
Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação

José Mariano Amabis
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências –
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
Doutor e Mestre em Ciências, na área de Biologia (Genética)
pelo Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
Professor do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (1972-2004).
Coordenador de Atividades Educacionais e de Difusão do Centro de Estudos
do Genoma Humano da Universidade de São Paulo (2000-2004).

Gilberto Rodrigues Martho
Licenciado em Ciências Biológicas pelo Instituto de Biociências –
Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.
Lecionou Biologia em escolas de ensino médio e cursos pré-vestibulares.

Biologia moderna

Amabis & Martho

1

Ensino Médio

Componente curricular: BIOLOGIA

MANUAL DO PROFESSOR

1ª edição

São Paulo, 2016

MODERNA

Coordenação editorial: Rita Helena Bröckelmann

Edição de texto: Marcia Maria Laguna de Carvalho (coord.), Flávio Gomes-Silva, Roberta Aparecida Bueno Hiranaka, Dino Santesso Gabrielli, Edna Emiko Nomura, Zanith Cook

Preparação de texto: Silvana Cobucci

Gerência de *design* e produção gráfica: Sandra Botelho de Carvalho Homma

Coordenação de produção: Everson de Paula

Suporte administrativo editorial: Maria de Lourdes Rodrigues (coord.)

Coordenação de *design* e projetos visuais: Marta Cerqueira Leite

Projeto gráfico: Marta Cerqueira Leite, Douglas Rodrigues José

Capa: Mariza de Souza Porto

Foto: Planta carnívora endêmica (*Drosera roraimae*). Monte Roraima (RR), 2014. © Fabio Colombini

Coordenação de arte: Wilson Gazzoni Agostinho

Edição de arte: Ana Miadaira

Editoração eletrônica: Grapho Editoração

Coordenação de revisão: Adriana Bairrada

Revisão: Afonso N. Lopes, Cecília Setsuko Oku, Geuid Dib Jardim, Maristela S. Carrasco

Coordenação de pesquisa iconográfica: Luciano Baneza Gabarron

Pesquisa iconográfica: Flávia Aline de Morais, Luciana Vieira

Coordenação de *bureau*: Américo Jesus

Tratamento de imagens: Denise Feitoza Maciel, Marina M. Buzzinaro, Rubens M. Rodrigues

Pré-impressão: Alexandre Petreca, Everton L. de Oliveira, Hélio P. de Souza Filho, Marcio H. Kamoto, Vitória Sousa

Coordenação de produção industrial: Viviane Pavani

Impressão e acabamento:

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Amabis, José Mariano
Biologia moderna : Amabis & Martho. – 1. ed. – São Paulo : Moderna, 2016.
Obra em 3v.
Componente curricular: Biologia

Bibliografia
1. Biologia (Ensino médio) I. Martho, Gilberto Rodrigues. II. Título.

16-01478 CCDD-574.07

Índices para catálogo sistemático:
1. Biologia : Estudo e ensino 574.07

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.
Todos os direitos reservados

EDITORA MODERNA LTDA.
Rua Padre Adelino, 758 - Belenzinho
São Paulo - SP - Brasil - CEP 03303-904
Vendas e Atendimento: Tel. (0_ _11) 2602-5510
Fax (0_ _11) 2790-1501
www.moderna.com.br
2016
Impresso no Brasil

1 3 5 7 9 10 8 6 4 2

Apresentação

Prezado estudante,

A ciência está em todas as mídias – TV, jornais e revistas, sem falar da internet – quase diariamente. Os conhecimentos científicos saem dos laboratórios de pesquisa e geram tecnologias cada vez mais surpreendentes. Hoje, todo cidadão bem informado e participante dos avanços sociais de sua época precisa compreender os fundamentos do pensamento científico.

A Biologia é o ramo da ciência dedicado ao estudo e ao entendimento do intrincado fenômeno da vida, em seus mais diversos níveis e manifestações. O que é vida? Quais são suas características fundamentais? De que é feito um ser vivo? Como os seres vivos surgiram e evoluíram? Como a vida se mantém no organismo e se perpetua no tempo? Essas são algumas das perguntas que esta obra propõe analisar e responder, do ponto de vista da ciência atual. Além disso, queremos integrar essas questões centrais da Biologia com suas aplicações em nosso contexto social.

Como encarar esta obra didática de Biologia? Acima de tudo, como uma aliada em sua busca pelo conhecimento. Folheie o livro, familiarize-se com ele: percorra cada página, observe as imagens, procure nele temas que despertam sua curiosidade, antecipe respostas. Temos certeza de que muitos dos assuntos aqui tratados são de seu interesse. Não deixe de ler a apresentação de cada capítulo, que proporciona mais contexto ao seu estudo. Aceite os desafios das atividades. Proponha outras maneiras de divulgar os resultados de suas pesquisas, a fim de propagar informações e ideias. Participe das aulas fazendo sugestões de como gostaria de estudar os variados assuntos. Lembre-se de que você é protagonista do processo de ensino-aprendizagem e percorra seu próprio caminho no conhecimento da Biologia; esta obra quer acompanhar você nessa tarefa.

Além disso procure sempre ampliar seus horizontes. Estabeleça relações, mesmo que ousadas e inusitadas, entre o que você aprende em Biologia e o conteúdo de outras áreas do conhecimento. Converse com seus professores; troque ideias com colegas. Quanto mais você utilizar seus conhecimentos, em diferentes contextos, mais eles serão proveitosos.

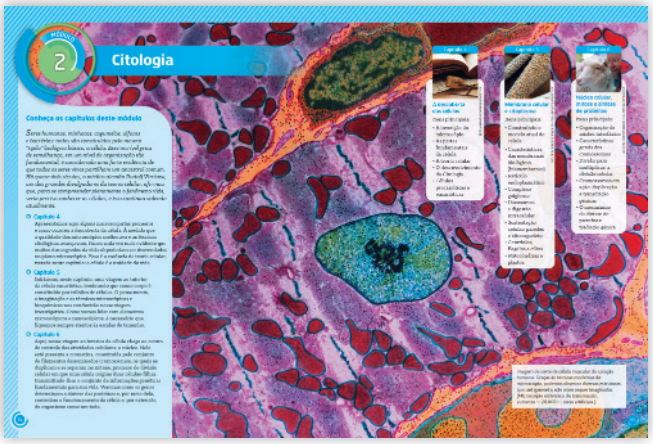
Desejamos que esta obra o ajude a compreender e a valorizar a ciência, considerando os limites e as possibilidades que ela oferece; que desperte seu interesse por temas científicos e, quem sabe, seja seu incentivo para participar dessa grande aventura que é a construção do conhecimento.

Os autores

Organização deste livro

Cada volume da obra está dividido em 3 ou 4 módulos temáticos; em cada um deles, os assuntos são desenvolvidos em 2 a 5 capítulos, acompanhados de atividades que reforçam a aprendizagem.

Conheça detalhadamente a organização interna deste volume.



Abertura dos módulos

Na abertura de cada módulo, os textos e imagens trazem informações importantes sobre os assuntos em pauta. Habitue-se a explorar essas páginas iniciais para se inteirar dos temas que serão desenvolvidos em cada capítulo.

Apresentação dos capítulos

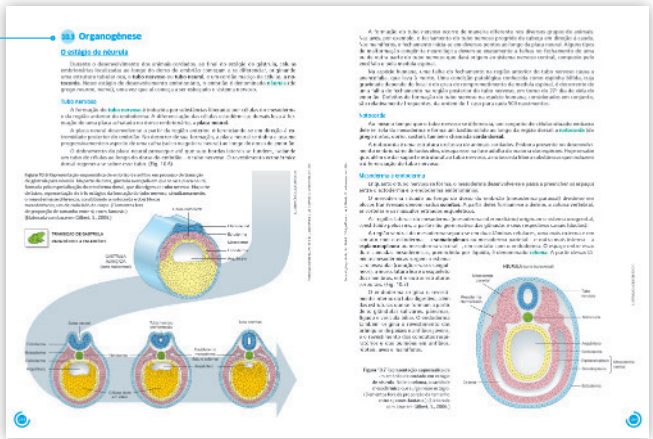
Qual a relação dos assuntos tratados no capítulo com nossa vida?
A *Apresentação* discute justamente as relações entre os conteúdos e questões cotidianas, sociais e de cidadania. Confira os temas de cada capítulo no item *A importância do assunto*.

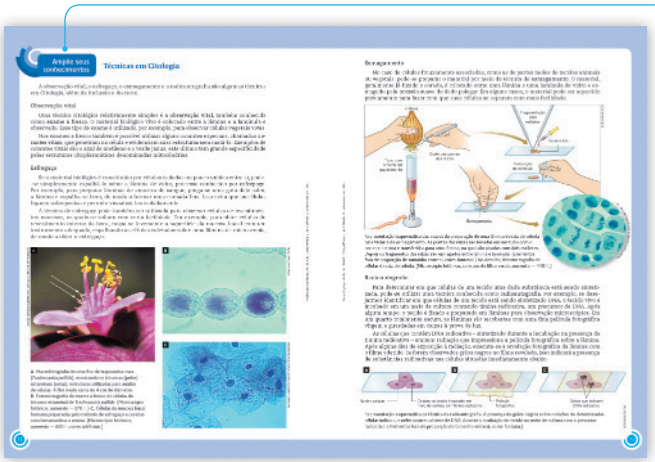
Recados em magenta para o professor
Ao longo do livro e em algumas atividades há alguns recados em magenta, destinados ao docente. O principal objetivo desses recados é sinalizar alguns pontos que merecem maior atenção, trazer sugestões de como conduzir determinada atividade ou de como aproximar o universo dos estudantes ao processo de aprendizagem. Vale ressaltar que orientações mais detalhadas constam do **Suplemento para o professor**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Textos e imagens

O texto do capítulo é dividido em itens e subitens que organizam os assuntos tratados. Os conceitos mais relevantes estão destacados em verde e outros conceitos importantes estão destacados em preto. As imagens complementam e ilustram o texto. Em seus estudos, explore o "diálogo" entre textos, imagens e legendas explicativas.





Amplie seus conhecimentos

Presente em alguns capítulos, o quadro *Amplie seus conhecimentos* aprofunda alguns temas e apresenta detalhes e curiosidades relativos ao assunto em pauta.

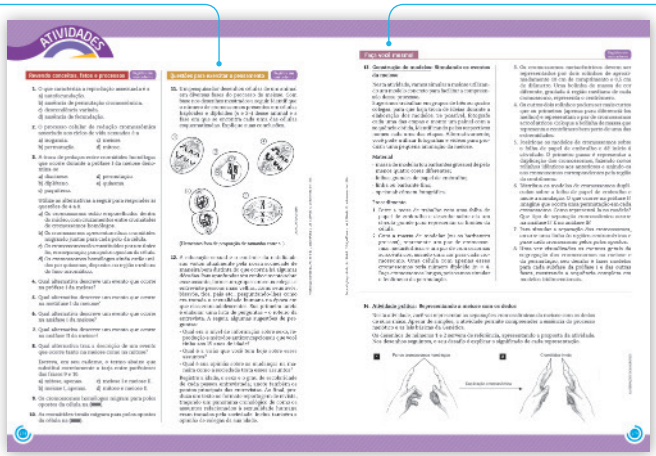
Ciência e cidadania

Outro quadro presente em vários capítulos da obra é o *Ciência e cidadania*. Nele, encontram-se assuntos diretamente ligados a questões cotidianas ou de cidadania, destinados a complementar ou a ampliar temas discutidos na *Apresentação* do capítulo. Os parágrafos do texto são numerados em sequência, e um *Guia de leitura* ajuda a explorar o tema central de cada um deles. Habitue-se a responder por escrito, em seu caderno, às sugestões do *Guia*.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Revendo conceitos, fatos e processos

Esse elenco de atividades contém questões de múltipla escolha, nas quais são revistos conceitos fundamentais do capítulo, relacionando-os a diferentes fatos e situações que ampliam seu significado. Não deixe de explorar essas atividades, anotando as respostas em seu caderno.

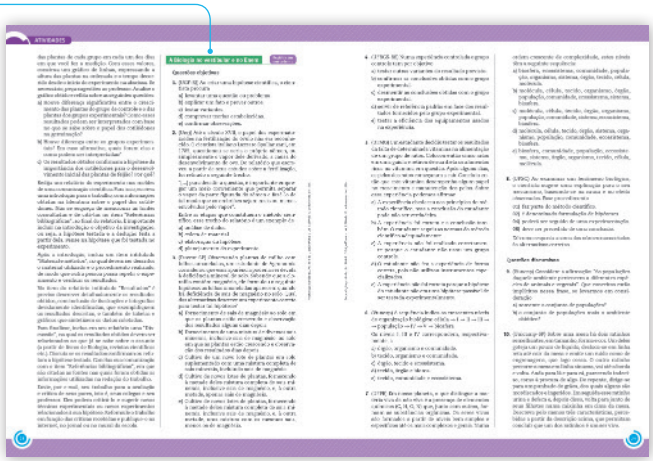


Questões para exercitar o pensamento

O elenco de atividades denominado *Questões para exercitar o pensamento* traz desafios e orientações para aplicar os conhecimentos aprendidos no capítulo a situações-problema. As diversas sugestões desse bloco demandam respostas que devem ser escritas no caderno. Exercite seu pensamento e aceite os desafios propostos por elas.

Faça você mesmo!

A maioria dos capítulos do livro traz uma ou mais sugestões de atividade intituladas *Faça você mesmo!*. Elas são um convite para realizar alguns "fazeres", como experimentos, a produção de murais, de matérias jornalísticas ilustradas ou de infográficos, entre outros. Muitas dessas atividades destinam-se ao trabalho em grupo. Forme sua equipe.



A Biologia no vestibular e no Enem

Essas atividades trazem questões selecionadas de exames de ingresso em universidades de diversos estados brasileiros, além de questões do Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) relacionadas aos temas do capítulo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sumário

MÓDULO 1 | A NATUREZA DA VIDA 10

Capítulo 1 Biologia: ciência e vida 12

Humanidade e ciência 12
A importância do assunto 13
1.1 Fundamentos do pensamento científico e surgimento da Biologia 13
1.2 Procedimentos em ciência 14
O procedimento hipotético-dedutivo da ciência, 14
A comunicação em ciência, 17
1.3 A Biologia como ciência 18
A ciência da vida: Biologia, 18
Características dos seres vivos, 19
O que é vida, 19
Composição química dos seres vivos, 19
Organização celular, 20
Metabolismo, 20
Reação e movimento, 21
Crescimento e reprodução, 22
Hereditariedade, 22
Variabilidade genética, seleção natural e adaptação, 23
Níveis de organização biológica, 24
Atividades 26

Capítulo 2 Origem da vida na Terra 30

À procura de nossas origens 30
A importância do assunto 31
2.1 A origem do universo e do Sistema Solar 31
A teoria do *big bang* ou teoria da grande explosão, 31
A origem do Sistema Solar, 32
A formação da Terra, 33
2.2 Como surgiu a vida na Terra? 34
A queda da teoria da geração espontânea, 34
O experimento de Redi, 34
Needham *versus* Spallanzani, 35
Pasteur e a derrubada da abiogênese, 36
Pesquisas sobre geração espontânea levaram a novas tecnologias, 37
2.3 Ideias modernas sobre a origem da vida 37
A origem pré-biológica dos precursores da vida, 37
Teoria da evolução molecular, 38
A origem das primeiras células vivas, 39
As hipóteses heterotrófica e autotrófica, 40
Atividades 41

Capítulo 3 Bases moleculares da vida 44

A Química e a vida 44
A importância do assunto 45
3.1 Componentes da matéria viva 45
3.2 Água e sais minerais 47
Importância da água para a vida, 47
A água como solvente, 47
A água nas reações químicas dos seres vivos, 47
A água como moderador de temperatura, 48
Importância biológica da coesão e da adesão da água, 48
Sais minerais e sua importância biológica, 49
3.3 Glicídios e lipídios 49
Características gerais dos glicídios, 49
Classificação dos glicídios, 50
Características gerais dos lipídios, 50
Classificação dos lipídios, 51
Ciência e cidadania: Colesterol e saúde, 53
3.4 Proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos 54
O que são proteínas?, 54
Ligação peptídica, 55
Em que diferem as proteínas?, 55
Arquitetura das proteínas, 55
Desnaturação das proteínas, 55
Funções das proteínas, 56
Enzimas, 56
Cofatores e coenzimas, 57
Fatores que afetam a atividade das enzimas, 57
Amplie seus conhecimentos: "Teste do pezinho", 58
O que são vitaminas?, 58
Ácidos nucleicos, 60
Estrutura dos ácidos nucleicos, 61
Atividades 62

MÓDULO 2 | CITOLOGIA 64

Capítulo 4 A descoberta das células 66

De que são feitos os seres vivos? 66
A importância do assunto 67
4.1 A invenção do microscópio 67
4.2 As partes fundamentais da célula 68
4.3 A teoria celular 69
4.4 O desenvolvimento da Citologia 69
A microscopia fotônica (óptica), 69
A qualidade dos microscópios, 70
Preparação de materiais para observação microscópica, 71
Amplie seus conhecimentos: Técnicas em Citologia, 72
A microscopia eletrônica, 74
4.5 Células procarióticas e eucarióticas 75
Atividades 76

Capítulo 5 Membrana celular e citoplasma 78

O mundo nanoscópico ... 78
A importância do assunto ... 79
5.1 Construindo o modelo atual de célula ... 79
A tridimensionalidade da célula viva, 80
5.2 Características das membranas biológicas (biomembranas) ... 81
Estrutura molecular das biomembranas, 81
Biomembranas e a permeabilidade celular, 82
Transporte passivo: difusão e osmose, 83
Transporte ativo, 84
Transporte em bolsas membranosas, 85
5.3 Retículo endoplasmático ... 87
5.4 Complexo golgiense ... 88
5.5 Lisossomos e digestão intracelular ... 89
Ciência e cidadania: Os pequenos lisossomos e seus grandes efeitos, 91
5.6 Sustentação celular: paredes e citoesqueleto ... 93
Parede celular, 93
Citoesqueleto, 93
5.7 Centríolos, flagelos e cílios ... 94
5.8 Mitocôndrias e plastos ... 95
Mitocôndrias: sede da respiração aeróbica, 95
Cloroplasto: sede da fotossíntese, 96
Atividades ... 97

Capítulo 6 Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas 102

Clones e a importância do núcleo celular ... 102
A importância do assunto ... 103
6.1 Organização do núcleo interfásico ... 103
Envelope nuclear (carioteca), 103
Cromatina e nucléolo, 104
6.2 Características gerais dos cromossomos ... 104
A arquitetura do cromossomo, 105
Cromátides-irmãs e centrômero, 105
Cromossomos e genes, 106
Cromossomos homólogos, 106
Células diploides e células haploides, 107
Citogenética humana, 107
O cariótipo humano, 108
Ciência e cidadania: Alterações cromossômicas na espécie humana, 109
6.3 Dividir para multiplicar: a divisão celular ... 111
O ciclo celular, 111
Mitose, 112
Prófase, 112
Metáfase, 113
Anáfase, 114
Telófase, 114
Citocinese, 115
Ciência e cidadania: O que é câncer?, 116
6.4 Cromossomos em ação: duplicação e transcrição gênicas ... 118
A estrutura molecular do DNA, 118
A duplicação semiconservativa do DNA, 119
A síntese de RNA: transcrição gênica, 120
6.5 O mecanismo da síntese de proteínas: tradução gênica ... 121
Tipos de RNA e suas funções, 121
RNA mensageiro (RNAm), 122
RNA transportador (RNAt), 123
RNA ribossômico (RNAr), 123
A síntese da cadeia polipeptídica, 124
Início da síntese da cadeia polipeptídica, 125
Crescimento da cadeia polipeptídica, 125
Término da síntese da cadeia polipeptídica, 127
Atividades ... 128

MÓDULO 3 | METABOLISMO ENERGÉTICO ... 136

Capítulo 7 Fotossíntese e quimiossíntese 138

Luzes sobre a fotossíntese ... 138
A importância do assunto ... 139
7.1 Energia para a vida ... 139
ATP, a "moeda energética" do mundo vivo, 140
7.2 O processo da fotossíntese ... 141
"Construindo" a equação da fotossíntese, 141
A síntese de ATP no cloroplasto: fotofosforilação, 143
Fotólise da água, 145
O ciclo das pentoses e a síntese de glicídios, 145
Destino dos produtos da fotossíntese, 146
7.3 Quimiossíntese ... 146
Atividades ... 147

Capítulo 8 Fermentação e respiração aeróbica 150

Respirar para quê? ... 150
A importância do assunto ... 151
8.1 Fermentação como forma de obter energia ... 151
Tipos de fermentação, 152
Ciência e cidadania: A importância da fermentação para a humanidade, 153
8.2 A respiração aeróbica ... 155
Rendimento e etapas da respiração aeróbica, 155
Fase citoplasmática da respiração: glicólise, 155
Fase mitocondrial da respiração aeróbica, 156
Ciclo de Krebs ou ciclo do ácido cítrico, 156
Fosforilação oxidativa, 157
Atividades ... 159

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MÓDULO 4 | REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO 162

Capítulo 9 Tipos de reprodução, meiose e fecundação 164

Sexo e reprodução 164
A importância do assunto 165
9.1 Tipos de reprodução 165
Processos assexuados de reprodução, 165
A importância da reprodução sexuada, 166
9.2 Meiose e reprodução 167
Etapas da meiose, 168
Semelhanças e diferenças entre mitose e meiose, 168
Meiose I, 168
Meiose II, 170
Ciência e cidadania: Falhas na meiose e alterações cromossômicas, 172
9.3 Gametas e fecundação nos animais 173
Espermatogênese em mamíferos, 173
Ovulogênese em mamíferos, 173
A fecundação nos animais, 174
9.4 Meiose e ciclos de vida 176
Ciclo haplobionte diplonte, 176
Ciclo haplobionte haplonte, 176
Ciclo diplobionte, 177
Atividades 178

Capítulo 10 Desenvolvimento embrionário animal 182

O empreendimento embrionário 182
A importância do assunto 183
10.1 Segmentação e formação da blástula 183
Tipos de ovos e segmentação, 183
10.2 Gastrulação 186
Formação dos folhetos germinativos, 186
10.3 Organogênese 188
O estágio de nêurula, 188
Tubo nervoso, 188
Notocorda, 189
Mesoderma e endoderma, 189
Amplie seus conhecimentos: A embriologia do anfioxo como exemplo, 190
10.4 Anexos embrionários 193
Saco vitelínico, 194
Alantoide, 194
Âmnio, 194
Cório, 194
Como se explica a presença de anexos embrionários em mamíferos?, 195
Atividades 196

Capítulo 11 Reprodução humana 199

Bebês de proveta e clonagem humana 199
A importância do assunto 200
11.1 Sistema genital feminino 200
Pudendo feminino, 200
Vagina e útero, 201
Tubas uterinas e ovários, 202
11.2 Sistema genital masculino 202
Pênis, escroto e testículos, 202
Ductos deferentes e glândulas acessórias, 203
11.3 Hormônios relacionados à reprodução 204
Gonadotrofinas: FSH e LH, 205
Estrógeno e progesterona, 205
Testosterona, 205
Controle hormonal do ciclo menstrual, 206
Amplie seus conhecimentos: Homens e mulheres: compreender conceitos para vencer preconceitos e estereótipos, 208
11.4 Gravidez e parto 210
Fecundação e nidação, 210
A placenta, 211
Fase fetal, 211
Parto, 213
Amplie seus conhecimentos: Compartilhando o útero materno: gêmeos humanos, 214
Ciência e cidadania: O controle da reprodução humana, 217
Atividades 220

Capítulo 12 A diversidade celular dos vertebrados 222

Células-tronco e engenharia de tecidos 222
A importância do assunto 223
12.1 A diversidade dos tecidos vivos 223
Ciência e cidadania: A importância das células-tronco, 224
12.2 Tecido epitelial 225
Epitélios de revestimento, 225
Epitélios glandulares, 226
12.3 Tecido conjuntivo 226
Tecidos conjuntivos propriamente ditos, 227
Tecidos conjuntivos especiais, 228
Tecido adiposo, 228
Tecido cartilaginoso, 228
Tecido ósseo, 229
Tecido hematopoiético e sangue, 230
12.4 Tecido muscular 231
12.5 Tecido nervoso 232
Atividades 234

Lista de siglas 237
Bibliografia 238
Sugestões de livros, *sites* e vídeos 239

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MÓDULO 1

A natureza da vida

Conheça os capítulos deste módulo

Compreender a natureza da ciência, além de auxiliar na tomada de decisões de interesse público em diversas áreas, leva a um melhor entendimento de como o conhecimento científico progride. Esse é um dos temas tratados no primeiro capítulo deste módulo. Outros assuntos do capítulo 1 são as características que distinguem os seres vivos dos materiais inanimados e os níveis hierárquicos da organização biológica, desde o nível submicroscópico até o planetário. Nos dois capítulos seguintes, discutimos como teria se originado a vida na Terra e quais são os principais componentes químicos dos seres vivos.

Capítulo 1

O desenvolvimento das Ciências Naturais levou a humanidade não apenas a melhorar a compreensão da natureza, mas também a interagir com ela em um nível nunca antes imaginado. Compreender como o conhecimento científico é construído e os alcances e as limitações da ciência pode auxiliar os cidadãos a tomar decisões de interesse público. Neste capítulo veremos, em linhas gerais, como o conhecimento científico é produzido e como a ação conjunta da observação e da razão contribui para o entendimento dos fatos da natureza. Apresentamos também um breve histórico das origens da Biologia como ciência e discutimos as dificuldades em definir "vida".

Capítulo 2

O capítulo apresenta resumidamente a visão científica atual sobre as origens do universo, da Terra e dos seres vivos. A maioria dos estudiosos acredita que as substâncias precursoras da vida se formaram na Terra primitiva há mais de 4 bilhões de anos, por um longo processo de evolução molecular. Como essas substâncias teriam originado os primeiros seres vivos? Responder a essa questão ainda é um dos grandes desafios da Biologia.

Capítulo 3

A aplicação de conhecimentos advindos da Química permitiu reconhecer que a organização e a fisiologia dos seres vivos são determinadas pelos átomos e moléculas que os constituem. A compreensão da química da vida tem sido de fundamental importância para o avanço da Biologia e para a melhoria da qualidade da vida humana. Neste capítulo apresentamos a constituição molecular das principais substâncias que compõem a matéria viva.

CHRISTOPHE LEHENAFF/PHOTONONSTOP/DIOMEDIA

Capítulo 1

BABAK TAFRESHI/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Biologia: ciência e vida

Itens principais:

- Fundamentos do pensamento científico e surgimento da Biologia
- Procedimentos em ciência
- A Biologia como ciência

Capítulo 2

NOAA GOES/NASA

Origem da vida na Terra

Itens principais:

- A origem do universo e do Sistema Solar
- Como surgiu a vida na Terra?
- Ideias modernas sobre a origem da vida

Capítulo 3

MARIJO FERMARIELLO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Bases moleculares da vida

Itens principais:

- Componentes da matéria viva
- Água e sais minerais
- Glicídios e lipídios
- Proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos

O desenvolvimento do conhecimento científico deve-se muito a uma característica inerente ao ser humano: a curiosidade. Quando nos questionamos sobre a ocorrência de determinado fenômeno e buscamos explicações lógicas para ele com base em fatos da natureza, estamos procedendo cientificamente.

Capítulo 1 Biologia: ciência e vida

BABAK TAFRESHI/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

A ciência procura explicar a natureza a partir da observação sistemática e controlada dos fenômenos naturais, embasada no raciocínio lógico. O conhecimento científico do mundo tem possibilitado à humanidade compreender melhor as relações entre os seres vivos e o ambiente, conectando-nos ao mundo que nos cerca.

Humanidade e ciência

Antes de escrever a introdução deste livro, navegávamos pela internet, a rede mundial de computadores, pesquisando o tema "humanidade e ciência" em busca de uma maneira de abordar a natureza da ciência que pudesse motivar os estudantes. Em um *blog* encontramos um diálogo curioso em que um dos interlocutores dizia mais ou menos o seguinte:

"— Cadê a ciência? Que benefícios ela tem proporcionado à humanidade? Na última década do século XX dizia-se que, quando o DNA humano fosse totalmente sequenciado, 90% das doenças deixariam de existir. Porém, já se passou mais de uma década e nada aconteceu. Por quê? Como acreditar na ciência depois disso? E mais: a ciência dizia que no século XXI muita coisa seria diferente, mas tenho a impressão de que tudo piorou: só se produziram mais armas e melhores. Basta lembrar que a ciência criou a bomba atômica!"

O outro interlocutor retrucava:

"— Infelizmente estamos bem longe de concretizar nossos sonhos. Mas não seja tão injusto com a ciência! Não se esqueça de que devemos muito a ela, como a possibilidade de nos comunicar com amigos ou parentes que estão do outro lado do planeta ou a prevenção de doenças como o sarampo. Isso sem falar da erradicação de uma doença tão perigosa como a varíola. E outra: você sabe como ocorrem as pesquisas científicas? Por exemplo: antes de estar disponível, um medicamento ou tratamento precisa passar por 10 anos de pesquisas e mais 15 anos de testes rigorosos. Com certeza você não sabia disso. Se soubesse, não teria dito tanta bobagem. Você está vendo apenas o lado negativo das coisas. Atualize-se! Ou você gostaria de voltar à Idade Média?"

O que achou do diálogo? O primeiro interlocutor está claramente desencantado com o alardeado poder da ciência em construir um mundo melhor. Ele, inclusive, se referiu ao Projeto Genoma Humano e citou alguns números para justificar sua argumentação. Será que seus pressupostos estão corretos? Qual é a sua opinião a respeito?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Para entender e discutir a importância da ciência, precisamos conhecer as bases do pensamento científico e os métodos que os cientistas utilizam em seu trabalho. Além disso, também é preciso conhecer um pouco da história da ciência e ter informações sobre as atualidades científicas mais relevantes para a humanidade.

Por exemplo, o Projeto Genoma Humano, mencionado no *blog*, tornou-se um dos ícones da ciência contemporânea. Entretanto, ao considerar como certa a cura de doenças pelo simples fato de se elucidar o genoma humano, algumas pessoas se decepcionaram com a aparente falta de resultados desses estudos. Outras, mais realistas, acham que ainda é cedo para esse tipo de resultado. Nós, particularmente, concordamos com estas últimas. O estudo sobre o genoma de seres humanos, de outros animais, de plantas e de outros seres vivos já trouxe diversos novos conhecimentos importantes, muitos deles com aplicações futuras na melhoria da saúde e da qualidade de vida. E certamente muitos outros resultados positivos surgirão em breve.

Neste primeiro capítulo, o principal objetivo é tornar mais clara a natureza da ciência e compreender o papel da observação, da formulação de hipóteses e da experimentação na produção do conhecimento científico.

Ao longo dos demais capítulos do livro, você poderá relembrar os conhecimentos aqui expostos e ampliá-los. À medida que for estudando, terá a oportunidade de aplicar esses conhecimentos para compreender melhor a importância social da ciência.

Compreender a natureza do conhecimento científico, bem como de seus alcances e limitações, ajuda-nos a pensar socialmente e a tomar decisões de interesse pessoal e público.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

1.1 Fundamentos do pensamento científico e surgimento da Biologia

Você é dessas pessoas curiosas que observam o mundo atentamente, procurando compreendê-lo? Leva sempre em conta o que já se conhece sobre determinado assunto antes de tirar suas conclusões? Em caso afirmativo, você segue alguns dos princípios do procedimento empregado pelos cientistas para fazer ciência. Mas o que é ciência, afinal?

Em linhas gerais, pode-se definir **ciência** como um método rigoroso de investigação da natureza cujo objetivo é fornecer explicações para fenômenos naturais. Nessa empreitada, o cientista utiliza determinados procedimentos que se assemelham aos empregados pelos detetives em suas investigações. A ciência procura explicar a natureza a partir da observação sistemática e controlada dos fenômenos naturais, embasada no raciocínio lógico. Além disso, o procedimento científico assume que toda explicação para um fenômeno natural deve ser sempre submetida a testes e críticas.

Os cientistas observam cuidadosamente os fatos e tentam explicá-los dentro de determinado contexto. **Fato** é um objeto ou um processo do mundo natural que podemos perceber objetivamente com nossos sentidos ou com o auxílio de instrumentos que os expandem, como microscópios e telescópios. A partir da observação controlada de determinados fatos, os cientistas procuram entender se há relação entre eles e como ou por que determinados fenômenos ocorrem. Pode-se dizer que o método que os cientistas utilizam na atividade científica é uma extensão sofisticada de procedimentos lógicos a que recorremos em nossa vida cotidiana para descobrir como as coisas funcionam ou por que elas acontecem. Por exemplo, quando observamos determinado acontecimento e temos um "palpite" do motivo pelo qual ele está ocorrendo, estamos elaborando o que os cientistas chamam de **hipótese**.

Você liga o aparelho de TV e ele não funciona. Seu primeiro palpite talvez seja que a televisão não está ligada à tomada. Para testar essa hipótese, basta verificar se o cabo de alimentação de energia está ligado à tomada; se estiver, você rejeitará essa hipótese e formulará outra: por exemplo, falta energia elétrica. Para testar essa nova hipótese, você poderia, por exemplo, tentar acender uma lâmpada ou ligar outro aparelho elétrico. Em nosso dia a dia, essas atitudes podem ajudar a tomar decisões. O procedimento científico é uma ferramenta poderosa à nossa disposição e pode nos ajudar a melhorar nossa compreensão do mundo.

No cotidiano, o termo hipótese é muitas vezes usado como sinônimo de "teoria", mas há uma grande diferença entre eles. Hipótese é uma tentativa de explicação para um determinado fenômeno isolado, enquanto **teoria** é uma ideia ampla, uma espécie de modelo que explica coerentemente um conjunto de observações e fatos abrangentes da natureza. Teorias são visões amplas de como o mundo funciona; elas dão sentido ao que vemos e é com base nelas que elaboramos hipóteses sobre fatos observados. A teoria celular, por exemplo, procura explicar a vida com base em informações sobre a estrutura e o funcionamento das células. A teoria da gravitação universal de Newton procurava explicar os movimentos dos corpos celestes com base na força de atração gravitacional. (Fig. 1.1)

WILLY MCNAMEE/CORBIS/LATINSTOCK

Figura 1.1 O paleontólogo estadunidense Stephen J. Gould (1941-2002) foi reconhecido internacionalmente como um dos maiores divulgadores de ciência dos últimos tempos. O humor refinado e a ironia de Gould transparecem no texto sobre fatos e teorias, publicado em 1981: "[...] E fatos e teorias são coisas diferentes e não degraus de uma hierarquia de certeza crescente. Os fatos são os dados do mundo. As teorias são estruturas de ideias que explicam e interpretam os fatos. Os fatos não se afastam enquanto os cientistas debatem teorias rivais. A teoria da gravitação de Einstein tomou o lugar da de Newton, mas as maçãs não ficaram suspensas no ar, aguardando o resultado [...]"[1].

1.2 Procedimentos em ciência

O procedimento hipotético-dedutivo da ciência

O conhecimento científico em geral começa com uma pergunta: "por que tal fenômeno ocorre?" ou "que relação determinado fenômeno tem com outro?". Quando formulam essas perguntas, os cientistas geralmente já têm uma hipótese sobre elas, apoiando-se nas informações existentes sobre o assunto e em teorias científicas que, como comentamos, são ideias e modelos de como o mundo funciona. Para formular uma hipótese, o cientista primeiramente analisa, interpreta e reúne o maior número possível de informações disponíveis sobre o assunto em estudo.

Para ser válida, uma hipótese científica tem que ser testável, ou seja, tem que possibilitar um teste lógico ou experimental. O teste da hipótese consiste em imaginar uma situação em que determinados fatos e consequências somente ocorrerão se a hipótese testada for verdadeira. Em outras palavras, a partir da hipótese o cientista faz deduções, prevendo o que ocorreria na situação imaginada caso a hipótese seja verdadeira. Essa metodologia, denominada **hipotético-dedutiva**, é a base da maioria dos procedimentos científicos.

Em certos casos, os cientistas elaboram situações especiais para testar suas hipóteses, o que se denomina **experimentação**. As situações experimentais, ou experimentos, permitem confirmar ou refutar as deduções elaboradas com base nas hipóteses. Se os resultados de experimentos, de observações controladas e mesmo de simulações matemáticas mostrarem que as deduções são incorretas, o cientista retrocede um passo e modifica ou substitui a hipótese inicial. Se as deduções se confirmarem, a hipótese ganha credibilidade e é aceita, enquanto não houver motivos para duvidar dela.

1 Tradução dos autores. O texto pode ser lido na íntegra em: GOULD, S. J., 1981. Disponível em: <http://www.stephenjaygould.org/library/gould_fact-and-theory.html>. Acesso em: fev. 2016.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De forma resumida e simplificada, o procedimento adotado pelos cientistas para investigar a natureza geralmente segue estes passos lógicos:

1. proposição de uma pergunta sobre determinado assunto;
2. formulação de uma hipótese;
3. levantamento de deduções com base na hipótese;
4. teste das deduções por meio de novas observações ou de experimentos;
5. conclusões sobre a validade ou não da hipótese.

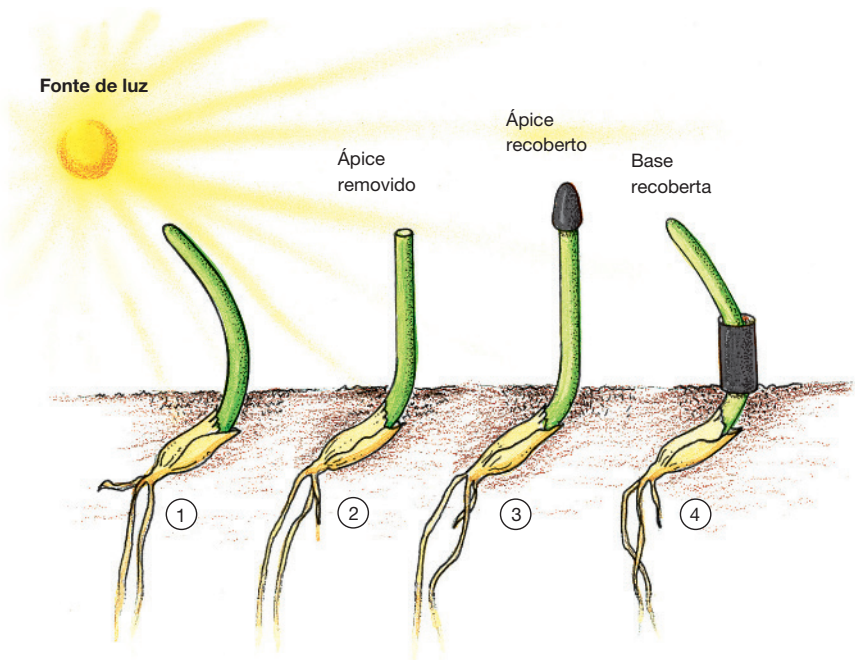
Um exemplo ilustrativo e, ao mesmo tempo, histórico de procedimento científico refere-se ao experimento realizado por Charles Darwin (1809-1882) e seu filho Francis Darwin (1848-1925), há mais de 100 anos. Eles investigaram um fato corriqueiro que você pode já ter notado, de as plantas curvarem-se em direção à luz. (Fig. 1.2)

MARTIN SHIELDS/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

Figura 1.2 Vaso com feijão (*Phaseolus vulgaris*) curvando-se para um dos lados. É um fato facilmente observável que as plantas percebem a fonte de luz e crescem em direção a ela. O que aconteceria, após alguns dias, se girássemos o vaso da fotografia em 180°?

Com base em suas observações, Charles e Francis Darwin formularam a hipótese de que a luz é percebida pela extremidade do caule das plantas. A partir dessa hipótese, eles fizeram a seguinte dedução: se é realmente a extremidade da planta que percebe a luz, plantas que tivessem suas extremidades eliminadas ou cobertas com uma proteção à prova de luz deixariam de se curvar em direção à fonte luminosa. Para testar essa hipótese, os pesquisadores cortaram as extremidades de algumas plantas jovens de alpiste e as colocaram perto de uma fonte de luz; ao lado, plantas intactas serviam de comparação. Alguns dias depois, os cientistas verificaram que as plantas intactas haviam se curvado em direção à luz, enquanto as plantas "decapitadas" continuavam eretas, sem se curvar.

Em outra experiência, os dois cientistas cobriram as extremidades de plantas com papel preto à prova de luz e compararam o comportamento delas com o de plantas que tiveram o papel preto colocado sobre outras partes que não as extremidades. As plantas com extremidades cobertas, assim como as decapitadas, mantiveram-se eretas, enquanto as plantas com outras regiões cobertas se curvaram em direção à fonte de luz. Como o resultado das experiências confirmou a previsão, a hipótese adquiriu validade. (Fig. 1.3)



JURANDIR RIBEIRO

Figura 1.3 Representação esquemática dos experimentos de Charles e Francis Darwin: o desenho 1 representa o ocorrido com o grupo de plantas que foram mantidas intactas: elas curvaram-se em direção à fonte de luz. O desenho 2 representa as plantas que tiveram as extremidades removidas e permaneceram eretas. O desenho 3 representa o grupo de plantas que tiveram suas extremidades cobertas por papel à prova de luz e que também se mantiveram eretas, tal qual as plantas decapitadas. O desenho 4 representa as plantas que tiveram outras partes do caule, que não a extremidade, cobertas por papel à prova de luz e que se curvaram, como as plantas do grupo 1. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando uma hipótese é testada por meio da experimentação, comparam-se os resultados obtidos em grupos experimentais – aqueles em que se provoca a alteração – com os obtidos em grupos de controle, nos quais não há intervenção. Nos experimentos de Charles e Francis Darwin, por exemplo, os grupos experimentais eram as plantas decapitadas e com a extremidade coberta com papel à prova de luz. As plantas intactas e aquelas em que a cobertura de papel preto não estava nas extremidades constituíam os grupos de controle, que permitiram aos pesquisadores avaliar os resultados da intervenção e validar ou não as hipóteses.

Diversas outras perguntas podem ter ocorrido a Francis e Charles Darwin durante o experimento, por exemplo: "De que modo a planta percebe a luz?" ou "Que mecanismo faz a planta se curvar?". Questões como essas ilustram algo que ocorre com frequência em ciência: os experimentos, além de testar hipóteses, acabam por levantar novas questões, para as quais serão elaboradas outras hipóteses, acompanhadas de novos experimentos para testá-las; é assim que o conhecimento científico progride.

Um exemplo corriqueiro de procedimento científico pode ser encontrado na prática de proteger frutos em desenvolvimento com saquinhos para evitar a infestação por "bichos". Acompanhe no infográfico a seguir as etapas do procedimento científico nessa atividade comum em fruticultura. (Fig. 1.4)

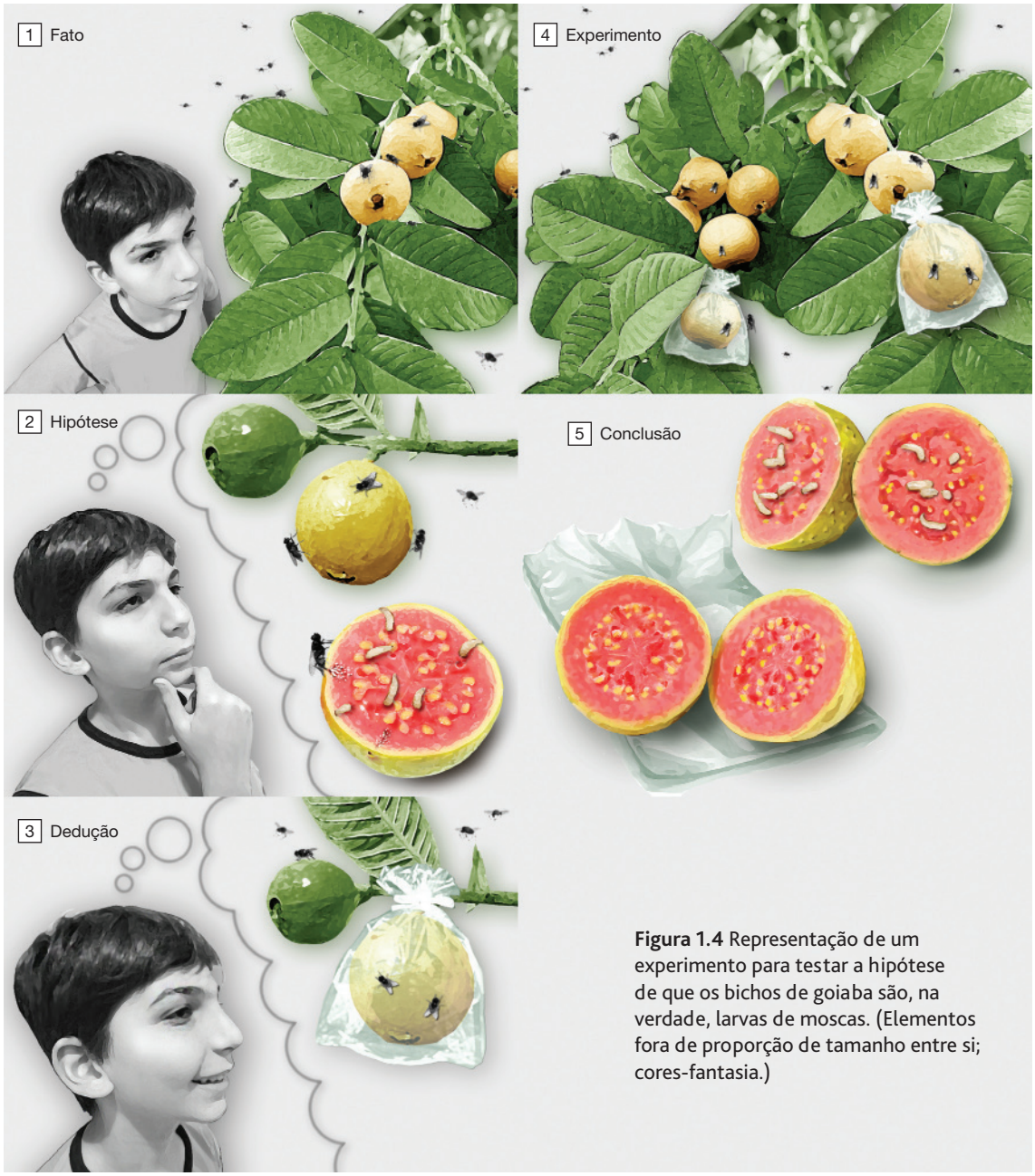


Figura 1.4 Representação de um experimento para testar a hipótese de que os bichos de goiaba são, na verdade, larvas de moscas. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A comunicação em ciência

Uma das exigências da ciência é que as ideias e as conclusões científicas se tornem públicas, de modo que possam ser criticadas por qualquer pessoa. Teorias, hipóteses e leis só passam a fazer parte integrante do corpo da ciência se forem publicadas, na forma de artigo, em uma revista especializada, credenciada pela comunidade científica. Esse tipo de publicação é imprescindível, pois dá credibilidade às informações levantadas, permitindo consultas e críticas.

As revistas científicas são publicações periódicas, geralmente vinculadas e subvencionadas por sociedades científicas ou instituições de pesquisa. Os editores de revistas científicas são pesquisadores renomados em sua área de atuação, cuja função é avaliar se os artigos preenchem os requisitos mínimos para a publicação. Nesse trabalho, eles são auxiliados por outros cientistas que atuam como árbitros, em geral anonimamente, com a incumbência de analisar os trabalhos científicos apresentados e recomendar sua aceitação com eventuais correções, ou mesmo sugerir sua rejeição. Essa avaliação prévia dos artigos científicos tem por objetivo excluir banalidades e excentricidades e verificar o ineditismo, a relevância, a qualidade e a adequação da investigação apresentada. Esse procedimento, conhecido como julgamento por pares, evita que a autoridade e a fama de um pesquisador sejam, por si só, suficientes para a aceitação de uma ideia dentro da ciência. Qualquer pesquisador, seja ele um iniciante ou um cientista consagrado, passará pelo mesmo processo de julgamento sempre que quiser publicar seus trabalhos e ideias em uma revista científica conceituada. (Fig. 1.5)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 1.5 Capas da revista estadunidense *Science*, publicada pela American Association for the Advance of Science, e da revista brasileira *Genetics and Molecular Biology*, publicada pela Sociedade Brasileira de Genética. *Science* é uma das mais conceituadas revistas científicas do mundo e publica artigos em diversas áreas das Ciências Naturais; *Genetics and Molecular Biology* é especializada na publicação de artigos na área da Genética.

Um artigo científico geralmente apresenta a seguinte estruturação: introdução, material e métodos, resultados, discussão e referências bibliográficas. A introdução tem a finalidade de situar o tema em estudo, apresentando os objetivos da investigação realizada, as hipóteses a serem testadas e estudos relacionados já publicados em revistas científicas. O item relativo a material e métodos descreve em detalhes os procedimentos utilizados na investigação, de modo que, em uma eventual repetição, possam ser obtidos os mesmos resultados. No item referente aos resultados, relata-se minuciosamente o que foi observado durante os estudos. A discussão visa analisar criticamente o trabalho realizado e as hipóteses testadas, confrontando os resultados obtidos com o conhecimento vigente apresentado em outras publicações e avaliando a contribuição do estudo em questão ao panorama científico. O tópico de referências bibliográficas relaciona todos os artigos e livros consultados durante o trabalho, com indicação dos respectivos autores, nome da revista, volume, páginas e data de publicação.

Convém destacar que artigos veiculados em jornais, em revistas de divulgação científica ou em livros não são comparáveis aos publicados em revistas científicas especializadas, uma vez que não são submetidos ao julgamento por especialistas credenciados pela comunidade científica. Publicações em jornais e revistas, assim como programas de televisão sobre ciência, desempenham papel importante na popularização do conhecimento científico, mas não trazem novos conhecimentos à ciência. Essas publicações são muitas vezes redigidas por jornalistas especializados, que se empenham em interpretar artigos de revistas científicas para os leitores leigos. Livros didáticos de Ciências, como este, também não têm por objetivo agregar ideias originais ao conhecimento científico. Seu papel é apresentar, de forma organizada e coerente, as ideias centrais vigentes em determinada área do conhecimento para ajudar os estudantes a compreender e a integrar conceitos fundamentais que lhes permitirão desenvolver uma visão científica do mundo.

1.3 A Biologia como ciência

A ciência da vida: Biologia

Até o século XVIII os cientistas ainda não tinham uma visão unificada dos seres vivos e dos processos biológicos, classificando as entidades da natureza em três grandes reinos: animal, vegetal e mineral. Essa separação mostra que os vegetais eram considerados tão diferentes dos animais quanto estes são diferentes dos minerais.

O grande avanço do conhecimento sobre a natureza, ao longo do século XVIII, mostrou que animais e vegetais compartilham características que os distinguem completamente dos minerais. Essas características são, principalmente, a organização corporal complexa e a capacidade de crescer, de se reproduzir e de morrer. Com base nesses parâmetros, o naturalista francês Lamarck propôs, em 1778, a divisão da natureza em dois grandes grupos: o dos minerais, que ele chamou de seres inorgânicos (sem organização), e o dos animais e vegetais, denominados seres orgânicos (com organização corporal). Assim surgia a Biologia como ciência. (Fig. 1.6)

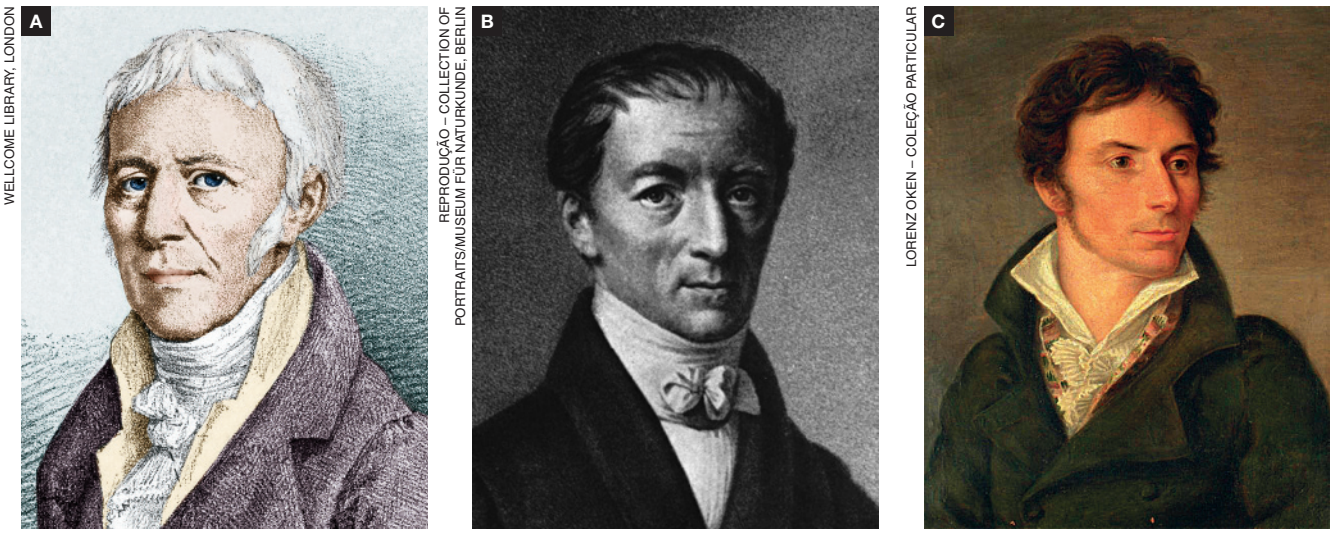


Figura 1.6 A. Retrato de Jean-Baptiste de Lamarck (1744-1829). **B.** Retrato de Gottfried Reinhold Treviranus (1776-1837). **C.** Retrato de Lorenz Oken (1779-1851). Esses estudiosos, além de outros, utilizaram, de modo independente e quase simultaneamente, o termo Biologia (do grego *bios*, vida, e *logos*, estudo) para designar a nova ciência que surgia na virada do século XVIII para o XIX e que tinha como objetivo o estudo dos seres vivos. Lamarck, em particular, também elaborou uma teoria sobre a evolução dos seres vivos que influenciou o naturalista Charles Darwin.

A partir do século XIX, a **Biologia** tornou-se um campo de pesquisa reconhecido e independente dentro das Ciências Naturais, passando a empregar os procedimentos que caracterizam a ciência moderna. No século XXI, a Biologia tem ocupado um papel de destaque entre as ciências na busca de soluções para grandes desafios da humanidade. O principal deles é, sem dúvida, a **sustentabilidade**, que é a capacidade de manter a harmonia entre a nossa espécie e os outros seres e os recursos do planeta, de modo a garantir a sobrevivência e o bem-estar das gerações futuras.

Conhecer a trama da vida é fundamental para que possamos atuar, como cidadãos conscientes, na busca de soluções para a preservação dos ambientes naturais da Terra. Novos campos de pesquisa biológica, como a Biotecnologia e a Engenharia Genética, têm proporcionado à humanidade certo poder de modificar a natureza. Hoje é possível, por exemplo, criar variedades de organismos antes inexistentes, produzir cópias idênticas de um organismo adulto ou mesmo prever doenças antes que elas se manifestem. Cabe à sociedade decidir se esses conhecimentos devem ser utilizados ou não, e esse é um dos motivos pelos quais você, como cidadão, precisa conhecer os fundamentos das Ciências Biológicas. Além disso, ao estudar Biologia, entramos em contato com o modo científico de pensar e de proceder, o que poderá trazer mudanças positivas em nossa vida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Características dos seres vivos

Este tópico pode ser considerado um "aquecimento" para iniciar o curso de Biologia; a discussão dos conceitos básicos apresentados pode ser útil para detectar concepções e conceitos imprecisos ou equivocados, assim como para diagnosticar outras dificuldades dos estudantes.

O que é vida?

Muitos biólogos têm se empenhado no desafio de definir "vida"; entretanto, nenhuma das definições formuladas até hoje é plenamente satisfatória. Entre as diversas tentativas de caracterizar e definir vida, podemos citar algumas que consideramos mais elucidativas. Por exemplo, em 1959, o geneticista estadunidense Norman Horowitz (1915-2005) sugeriu que a vida "caracteriza-se por autorreplicação, mutabilidade e troca de matéria e energia com o meio ambiente". Em 1986, o biólogo evolucionista inglês John Maynard Smith (1920-2004) considerou que "[...] entidades com propriedades de multiplicação, variação e hereditariedade são vivas, e entidades que não apresentam uma ou mais dessas propriedades não o são". O bioquímico evolucionista Jeffrey S. Wicken (1942-2002), em 1987, definiu vida como "uma hierarquia de unidades funcionais que, por meio da evolução, têm adquirido a habilidade de armazenar e processar a informação necessária para sua própria reprodução".

A dificuldade em definir "vida" de maneira sintética deve-se à própria complexidade do fenômeno vida, que se manifesta de muitas formas, na enorme diversidade de espécies biológicas da natureza. Como a vida não tem um traço distintivo único, e sim vários, em diferentes níveis, isso acaba criando definições longas e complexas, que tentam abranger todas, ou a maioria, das características fundamentais da vida.

Há cientistas eminentes que consideram impossível definir claramente o fenômeno vida. Entre estes últimos, destaca-se o zoólogo alemão, naturalizado estadunidense, Ernst Mayr (1904-2005), que, em 1982, escreveu: "Tentativas foram feitas repetidamente para definir 'vida'. Esses esforços são um tanto fúteis, visto que agora está inteiramente claro que não há uma substância, um objeto ou uma força especial que possa ser identificada à vida". Apesar de não achar possível definir "vida", Ernst Mayr admite a possibilidade de definir o que ele chama de "processo da vida". Diz ele: "O processo da vida, contudo, pode ser definido. Não há dúvida de que os organismos vivos possuem certos atributos que não são encontrados [...] em objetos inanimados". (Fig. 1.7)

BRUNI MEYA/AKG-IMAGES/NEWSCOM/FOTOARENA

Figura 1.7 Ernst Walter Mayr (1904-2005) foi um dos mais importantes biólogos do século XX. Ornitólogo e historiador da ciência, ele foi um dos artífices de uma das mais difundidas definições de espécie biológica e da importante revolução conceitual que ficou conhecida como teoria sintética da evolução. Entre sua extensa produção científica, destacam-se inúmeros livros que tratam de questões cruciais da Biologia.

Entre os atributos mais típicos dos seres vivos, destacam-se: composição química, organização celular, metabolismo, reação e movimento, crescimento e reprodução, hereditariedade, variabilidade genética, seleção natural e adaptação. A seguir, vamos analisar cada um desses atributos da vida.

Composição química dos seres vivos

A matéria componente dos seres vivos é constituída de átomos, assim como a matéria que constitui as entidades não vivas. Isso significa que a matéria viva está sujeita às mesmas leis naturais que regem o universo conhecido. Na matéria viva, porém, certos tipos de elemento químico sempre estão presentes. São eles: **carbono** (C), **hidrogênio** (H), **oxigênio** (O) e **nitrogênio** (N); em menor proporção, **fósforo** (P) e **enxofre** (S).

Dezenas, centenas e mesmo milhões de átomos desses e de outros elementos químicos, unidos por meio de ligações químicas, formam as moléculas constituintes dos seres vivos, genericamente chamadas de **moléculas orgânicas**. Essas moléculas são geralmente constituídas por longas sequências de átomos de carbono interligados, aos quais estão unidos átomos de outros elementos componentes da molécula. Os principais tipos de moléculas orgânicas são as **proteínas**, os **glicídios**, os **lipídios** e os **ácidos nucleicos**.

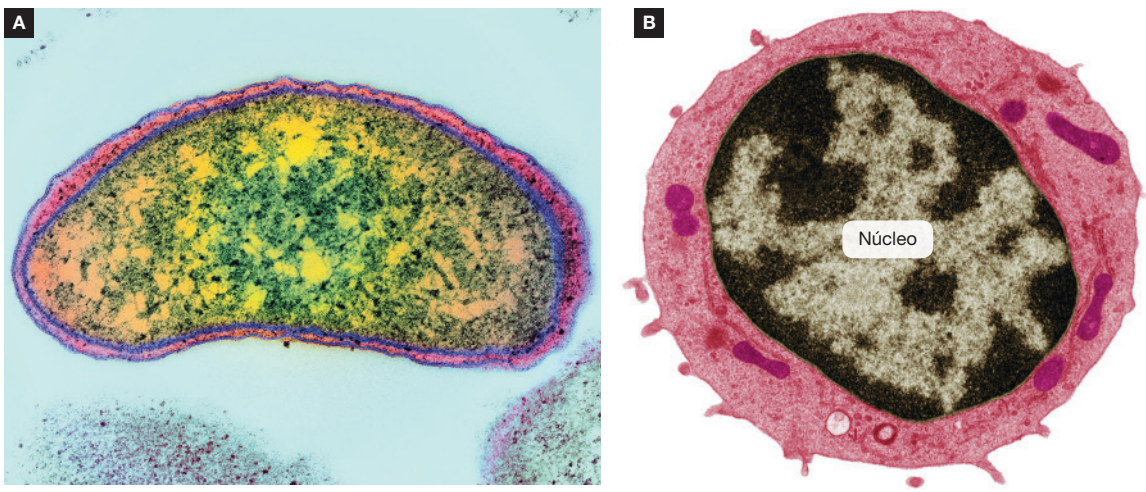
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Organização celular

Os seres vivos possivelmente são as entidades mais complexas do universo. Basta dizer que, no espaço microscópico de uma célula viva podem estar reunidos até 35 elementos químicos dos 89 elementos que ocorrem na natureza. Tal concentração e organização de elementos químicos não ocorrem em objetos não vivos. Além disso, os elementos químicos que compõem os seres vivos estão organizados em milhares de substâncias orgânicas diferentes. Essas substâncias, distribuídas e combinadas de forma também altamente organizada, constituem as **células**, consideradas as unidades fundamentais da vida.

Há dois tipos básicos de células: procarióticas e eucarióticas. A **célula procariótica** é relativamente mais simples que a eucariótica e em seu interior geralmente não há compartimentos membranosos. A **célula eucariótica** apresenta inúmeros compartimentos e estruturas membranosas internas, que desempenham funções específicas como digestão, transporte e armazenamento de substâncias. Além disso, a célula eucariótica tem um compartimento especial, o núcleo, no qual se localiza o material genético que constitui os genes; nas células procarióticas, por sua vez, o material hereditário encontra-se livre no conteúdo celular. Apenas bactérias e arqueas têm células procarióticas; todos os demais seres vivos – protozoários, algas, fungos, plantas e animais – têm células eucarióticas.

A figura a seguir mostra cortes de uma bactéria e de um leucócito humano (célula do sangue também conhecida como glóbulo branco) ao microscópio eletrônico de transmissão. Nas imagens é possível notar a diferença entre a organização interna de células procarióticas e eucarióticas. Para obter fotografias como estas, os pesquisadores mergulham as células em um líquido especial, denominado fixador, que as mata rapidamente preservando sua estrutura interna, como se fosse uma espécie de mumificação. Em seguida, as células fixadas são embebidas em uma resina que, ao endurecer, permite cortá-las em fatias finíssimas; para isso, é utilizado um aparelho especial de corte denominado micrótomo. As fatias do material biológico são, então, observadas e fotografadas no microscópio eletrônico. Detalhes do procedimento de preparação de células para observação microscópica, assim como do funcionamento dos microscópios, são tratados no capítulo 4 deste livro. (Fig. 1.8)



DR. KARI LOUNATMAA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 1.8 A. Fotomicrografia de bactéria *Vibrio cholerae*, uma célula procariótica. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 40.000×; cores artificiais.) **B.** Fotomicrografia de linfócito humano, uma célula eucariótica. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 9.000×; cores artificiais.) Note a grande complexidade da célula eucariótica, em que se destacam o núcleo e outras estruturas membranosas no interior celular; a célula procariótica não apresenta estruturas membranosas internas.

Metabolismo

A maioria das substâncias presentes nas células é constantemente degradada e substituída por substâncias recém-fabricadas. Essa atividade intracelular de montagem e desmontagem de substâncias requer energia, que a célula obtém pela degradação de certos tipos de moléculas orgânicas, genericamente chamadas de nutrientes energéticos. Além de fornecer a energia necessária à manutenção da vida, esses nutrientes fornecem matéria-prima para a célula produzir

novas moléculas. Todas essas atividades de transformação química que ocorrem no interior de uma célula constituem o **metabolismo**, palavra de origem grega (*metabole*) que significa mudança ou transformação. (Fig. 1.9)

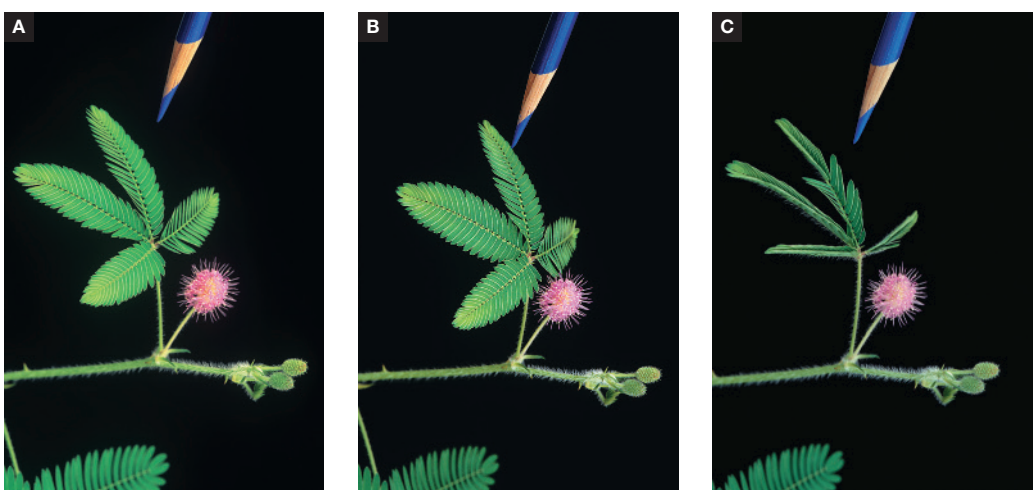
OLIVEROMG/SHUTTERSTOCK

Figura 1.9 A manutenção da vida de um ser vivo, assim como todas as atividades que ele realiza – por exemplo, a prática de esportes –, depende das transformações químicas que ocorrem em suas células e que constituem o metabolismo.

Reação e movimento

Os animais são capazes de perceber o que se passa ao seu redor e de reagir a diferentes tipos de estímulo. A reação quase sempre envolve a realização de movimentos. Por exemplo, o cheiro de um leão levado pelo vento é captado pelo apurado olfato dos antílopes e provoca sua fuga imediata. A capacidade de se movimentar rápida e ativamente, correndo, voando ou nadando, permite à maioria dos animais explorar o ambiente à procura de alimento, de abrigo e de condições adequadas à sobrevivência.

Plantas também reagem a estímulos. Porém, as reações vegetais são bem mais lentas que as dos animais. Por exemplo, a maioria das plantas altera a posição das folhas no decorrer do dia e, em certas espécies, as folhas chegam mesmo a acompanhar a trajetória aparente do Sol, o que lhes possibilita aproveitar melhor a luminosidade. Algumas poucas espécies de plantas apresentam reações relativamente rápidas, como ocorre na sensitiva (*Mimosa pudica*) e em certas plantas "carnívoras", cujas folhas se fecham rapidamente ao serem tocadas. (Fig. 1.10)



FOTOS: DAVID SIEREN/VISUALS UNLIMITED, INC./GLOW IMAGES

Figura 1.10 A reação das folhas da planta sensitiva (*Mimosa pudica*) ao toque é um exemplo extremo da resposta das plantas a estímulos. As folhas (**A**), ao serem tocadas (**B**), fecham-se em fração de segundo (**C**).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Entre os seres microscópicos, muitos são capazes de perceber as condições ambientais, movimentando-se ativamente em resposta a determinados estímulos. Certas algas, protozoários e bactérias apresentam filamentos móveis (flagelos ou cílios) que atuam como nadadeiras microscópicas e permitem deslocamento em meio líquido.

Embora a reação a estímulos e a movimentação ativa sejam características da maioria dos seres vivos, sobretudo dos animais, há formas de vida que não reagem a estímulos nem são capazes de se movimentar ativamente. É o caso de certos tipos de bactéria que somente se deslocam passivamente quando transportados pela água, pelo ar ou por outros seres vivos.

Crescimento e reprodução

Todo ser vivo cresce. Alguns minerais também podem crescer, mas por processos completamente diferentes dos que ocorrem nos seres vivos; certos cristais, por exemplo, podem aumentar de tamanho pela simples agregação de matéria. O crescimento de um ser vivo, por sua vez, ocorre sempre pela produção organizada de substâncias por meio do metabolismo celular.

Neste momento, pode-se propor uma discussão a respeito dos vírus. Eles não são considerados seres vivos por alguns biólogos, uma vez que não são constituídos por células. Vírus, porém, manifestam a capacidade de reprodução quando parasitam células hospedeiras. Esse exemplo mostra a dificuldade em definir "vida". Incentive os estudantes a expressar sua opinião sobre o assunto e, se julgar oportuno, forneça mais informações sobre os vírus, tentando identificar neles outros atributos da vida listados aqui, como a composição química e a organização.

Seres vivos constituídos por uma única célula – bactérias, protozoários, algumas algas e uns poucos fungos –, chamados de **unicelulares**, crescem pelo aumento do tamanho de sua única célula. Esta cresce até atingir determinado tamanho, podendo eventualmente se dividir em duas células menores, semelhantes à original. Nesse caso, a divisão da célula em duas corresponde ao próprio processo de reprodução.

Os seres vivos constituídos por mais de uma célula (desde poucas dezenas até bilhões ou trilhões), chamados de seres **multicelulares** ou pluricelulares, surgem a partir de uma única célula que se multiplica ou a partir de um grupo de células que se desprende do corpo de um indivíduo preexistente, crescendo principalmente pelo aumento do número de células do corpo.

Os biólogos costumam distinguir dois modos básicos de reprodução: assexuada e sexuada. **Reprodução assexuada** é aquela em que um novo ser surge a partir de uma célula ou de um grupo de células produzido por um único indivíduo genitor. Nesse caso, os organismos filhos recebem as mesmas instruções genéticas presentes no genitor e geralmente são idênticos a ele. **Reprodução sexuada** é aquela em que um novo ser surge a partir de uma única célula, o zigoto, originado pela união de duas células sexuais, os gametas, produzidas por um ou, mais comumente, por dois organismos genitores. O processo de união dos gametas é denominado **fecundação**. Se os gametas são provenientes do mesmo genitor, fala-se em **autofecundação**. Quando os gametas que se fundem se originam de dois indivíduos genitores, fala-se em **fecundação cruzada**.

A reprodução é uma das características mais essenciais da vida. É por meio da reprodução que a vida vem se perpetuando ininterruptamente desde que surgiu, há mais de 3,5 bilhões de anos.

Hereditariedade

A **hereditariedade** é outra característica essencial da vida, intimamente ligada à reprodução. Um ser vivo, ao se reproduzir, transmite a seus descendentes um conjunto de instruções em código, inscritas nas moléculas de seu material genético (ácido nucleico), além de uma estrutura celular básica a partir da qual o novo ser desenvolverá sua organização típica. Herdamos de nossos pais todas as instruções genéticas e a organização celular para desenvolver nosso corpo conforme os padrões típicos de nossa espécie. Uma bactéria, uma samambaia, um cachorro ou qualquer outro ser vivo desenvolvem as características típicas de sua espécie a partir das instruções genéticas e da base celular que receberam pela reprodução de seus progenitores.

As instruções genéticas estão presentes em moléculas de uma substância química denominada ácido desoxirribonucleico ou DNA. Apenas uns poucos tipos de vírus apresentam RNA (ácido ribonucleico), e não DNA, como material genético. O material genético controla o metabolismo celular e define as características típicas de cada célula e do conjunto de células que constituem o organismo multicelular. (Fig. 1.11)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

LILIYA KULIANIONAK/SHUTTERSTOCK

Figura 1.11 Cadela da raça dachshund com seus filhotes; o cão adulto dessa raça mede cerca de 20 cm de altura. A semelhança entre pais e filhos deve-se à transmissão de instruções genéticas inscritas em moléculas de DNA.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Variabilidade genética, seleção natural e adaptação

O material genético varia ligeiramente entre os membros de uma mesma espécie, o que se denomina **variabilidade genética**. Graças a essa capacidade de variação, os indivíduos que nascem a cada geração são ligeiramente diferentes uns dos outros; alguns deles podem ter mais chance de sobreviver e de se reproduzir e, assim, transmitir suas características à descendência. Essa ideia de que os indivíduos de uma população têm diferentes chances de sobreviver e de deixar descendentes foi proposta em meados do século XIX pelos naturalistas ingleses Charles Darwin e Alfred Wallace (1823-1913) e denominada **seleção natural**.

A seleção natural é a base da teoria evolucionista, segundo a qual os seres vivos se modificam ao longo do tempo, adaptando-se aos ambientes em que vivem. A **adaptação** é explicada pela teoria evolucionista da seguinte maneira: entre os indivíduos de uma geração de organismos vivos, graças à variabilidade genética, há aqueles que se ajustam melhor ao meio em que vivem; esses têm mais chance de sobreviver e de se reproduzir, transmitindo aos descendentes suas características, entre elas aquelas responsáveis pela adaptação. Em decorrência dessa seleção operada pela natureza, geração após geração, as espécies vivas vão se tornando cada vez mais bem ajustadas ao meio, isto é, cada vez mais adaptadas. (Fig. 1.12)

Segundo a teoria evolucionista, as diferentes formas de adaptação levaram à diversificação da vida e ao surgimento da grande variedade de espécies biológicas hoje existentes, cada uma adaptada a um modo de vida particular.

FABIO COLOMBINI

Figura 1.12 O bico de um beija-flor é perfeitamente adaptado ao modo como esse pássaro se alimenta, pois, graças a seu formato longo e afilado, pode ser introduzido nas flores para sugar o néctar. Os biólogos atribuem essa e outras adaptações ao processo evolutivo, característico da vida. Na fotografia, beija-flor da espécie *Phaethornis pretrei*, que mede cerca de 15 cm de comprimento.

Níveis de organização biológica

Ao estudar a vida, podemos distinguir diversos níveis hierárquicos de organização biológica, que vão desde o nível submicroscópico até o planetário. (Fig. 1.13)

Começando no nível submicroscópico, a matéria viva é constituída de **átomos**, que se reúnem quimicamente formando as **moléculas** das diversas substâncias orgânicas. Proteínas, por exemplo, são moléculas constituídas por centenas, milhares ou mesmo milhões de átomos, principalmente dos elementos carbono (C), hidrogênio (H), oxigênio (O) e nitrogênio (N).

Continuando a "subir" na hierarquia da organização biológica, vemos que as moléculas orgânicas formam diversos tipos de **organelas** ou organoides celulares, que se integram na constituição das **células**, as unidades básicas de todos os seres vivos, com exceção dos vírus. Organelas são estruturas celulares encontradas em células eucarióticas, especializadas em diversas funções; por exemplo, as mitocôndrias são organelas produtoras de energia para os processos metabólicos.

Do nível celular passamos ao nível seguinte, que ocorre em diversos grupos de organismos multicelulares (animais e plantas). As células desses organismos se especializam e se congregam, originando conjuntos celulares funcionais, os **tecidos**. O tecido muscular, por exemplo, é formado por células especializadas em se contrair e produzir movimentos.

Diversos tipos de tecido organizam-se formando os **órgãos**, que são unidades anatômicas e funcionais presentes em seres multicelulares complexos. Por exemplo, o coração, cuja função é bombear sangue pelo corpo, é um órgão constituído por diversos tecidos, entre eles o tecido muscular.

Os órgãos atuam de forma integrada para o desempenho de funções corporais específicas. Um conjunto de órgãos integrados funcionalmente constitui um **sistema de órgãos**. Um exemplo de sistema corporal é o sistema digestivo, formado por diversos órgãos, como boca, esôfago, estômago, intestino e diversas glândulas que atuam na digestão. Os sistemas de órgãos, em seu conjunto, compõem o nível do **organismo**. É nesse nível que estamos conversando por meio deste texto, de pessoa (organismo) para pessoa.

A hierarquia da organização biológica não para por aí; os indivíduos geralmente não vivem isolados, mas interagem entre si e com o ambiente. O conjunto de indivíduos de uma mesma espécie que habita determinada região geográfica constitui uma **população biológica**. Exemplos são as populações humanas dos diversos países ou uma população de macacos.

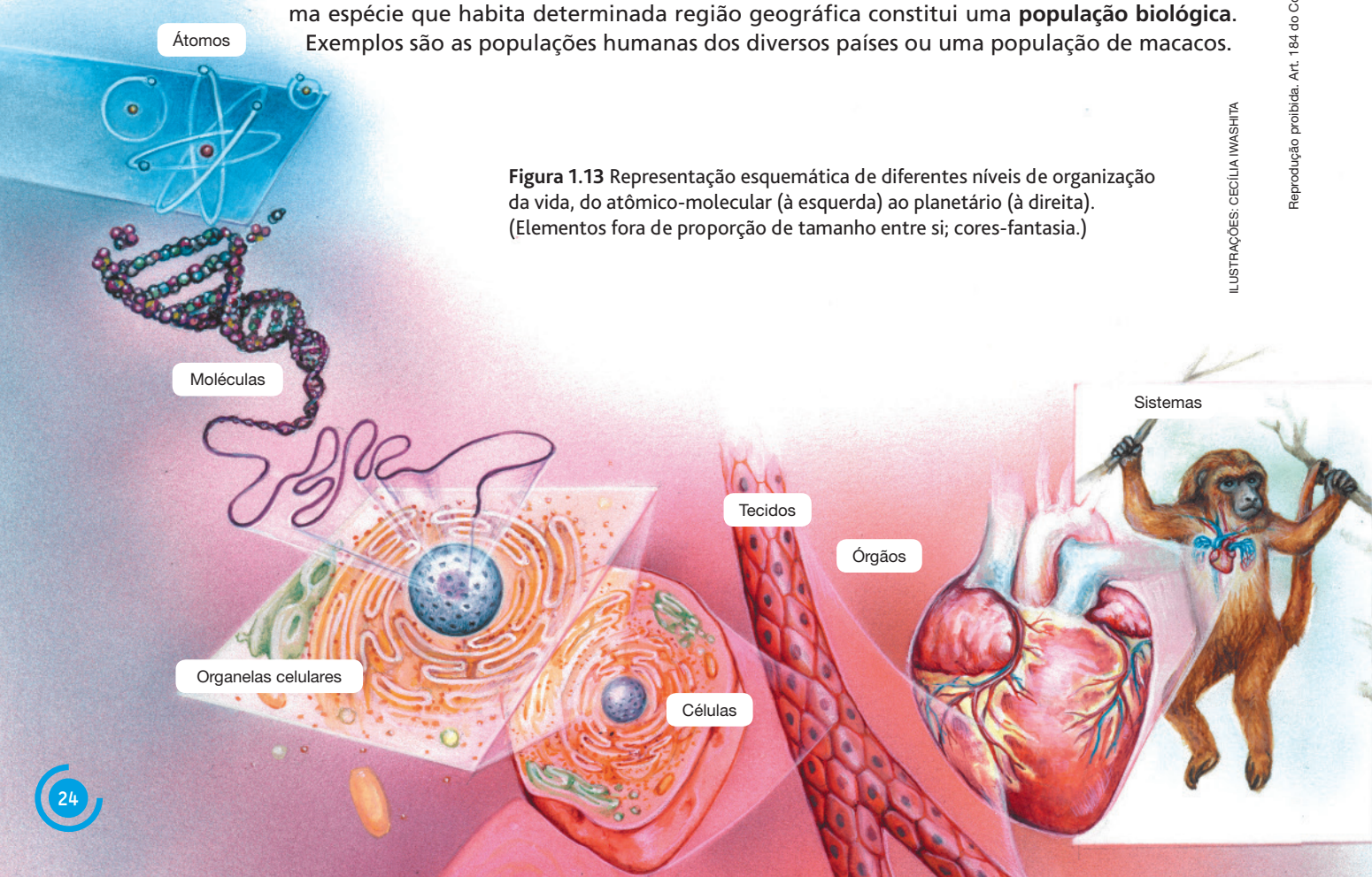


Figura 1.13 Representação esquemática de diferentes níveis de organização da vida, do atômico-molecular (à esquerda) ao planetário (à direita). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Membros de uma população geralmente interagem com indivíduos de populações de outras espécies que habitam a mesma região geográfica. Ao conjunto de populações diferentes que coexistem em determinada região, interagindo direta ou indiretamente, dá-se o nome de **comunidade biológica** (ou biocenose). Por exemplo, a comunidade da qual faz parte uma população de macacos inclui as populações de plantas e de animais com as quais coabitam.

Os membros de uma comunidade biológica, além de interagir entre si, interagem com o ambiente em que vivem, que os biólogos denominam **biótopo**. Aspectos do biótopo são temperatura, umidade, luminosidade e componentes químicos, entre outros. Por exemplo, os organismos são influenciados pela composição química e pela temperatura da água dos rios, pela umidade do ar e por diversos outros fatores climáticos. Os seres vivos da comunidade também influenciam os fatores ambientais. As plantas de uma comunidade biológica, por exemplo, criam um microclima mais úmido que o proporcionado pelo clima regional. Com o decorrer do tempo, plantas e animais modificam a composição química do solo, enriquecendo-o em matéria orgânica. Ao grande conjunto formado pela interação da comunidade e do biótopo dá-se o nome de **ecossistema**.

A mais alta das hierarquias biológicas é a que reúne todos os ecossistemas da Terra: a **biosfera**. O termo foi introduzido em 1875 pelo geólogo austríaco Eduard Suess (1831-1914), e seu emprego se generalizou a partir da década de 1920, por analogia a outros conceitos utilizados para designar partes do planeta, como litosfera, a camada rochosa que constitui a superfície terrestre, e atmosfera, a camada de ar que circunda o planeta. A biosfera é constituída pelos seres vivos da Terra e pelos ambientes onde eles vivem, ou seja, é o conjunto de ecossistemas do planeta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 4.

a) dedução
b) fato
c) observação
d) teoria científica

1. ([redacted]) é um fenômeno natural, que pode ser observado com ou sem o auxílio de instrumentos. 1. b

2. Uma explicação abrangente sobre a natureza que engloba fatos e hipóteses e constitui um modelo de como o mundo funciona é um(a) ([redacted]). 2. d

3. A partir de uma hipótese, os cientistas fazem uma previsão do que ocorrerá em determinada situação, se aquela hipótese for verdadeira. Isso constitui um(a) ([redacted]). 3. a

4. Um dos primeiros passos do procedimento científico é, em geral, o(a) ([redacted]), que consiste no exame acurado da natureza. 4. c

5. Com o objetivo de testar a eficácia de uma nova vacina contra a doença chamada febre aftosa, vacinou-se um lote de 20 vacas, deixando outras 20 sem vacinar. Após algum tempo, injetou-se em todas as vacas o vírus causador da febre aftosa. O lote não vacinado constitui 5. a

a) o grupo de controle.
b) o grupo experimental.
c) a hipótese.
d) a observação.

6. O que garante a continuidade da vida em nosso planeta é a capacidade que os seres vivos têm de 6. e

a) crescimento.
b) metabolização.
c) movimentação.
d) reação a estímulos.
e) reprodução.

7. Venenos como o cianureto matam porque bloqueiam reações químicas intracelulares. Pode-se dizer, assim, que o cianureto atua diretamente sobre o(a) 7. c

a) reprodução.
b) evolução.
c) metabolismo.
d) crescimento.
e) reação a estímulos.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 8 a 10.

a) comunidade biológica
b) ecossistema
c) organismo
d) população biológica

8. Os micos-leões-dourados que habitam a Reserva Biológica Poço das Antas no Rio de Janeiro constituem um(a) ([redacted]). 8. d

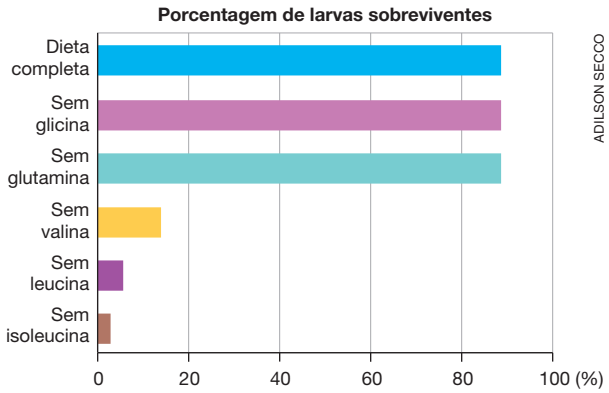
9. Um lago com seus habitantes em interação com os fatores físicos e químicos ambientais é um exemplo de ([redacted]). 9. b

10. O conjunto de seres vivos que habita um lago constitui um(a) ([redacted]). 10. a

Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

11. Dois cientistas realizaram o seguinte experimento: alimentaram larvas de uma espécie de mosca com dietas que diferiam quanto à presença de aminoácidos, que são os componentes das proteínas. Um grupo de larvas foi alimentado com uma dieta completa, com todos os 20 tipos de aminoácidos naturais, além de água, sais minerais, açúcares e vitaminas. Cinco outros grupos de larvas, semelhantes ao primeiro, foram alimentados com dietas nas quais faltava somente um dos aminoácidos. Os resultados obtidos estão representados no gráfico a seguir.



Com base nessas informações, responda:

a) Qual era a provável hipótese testada pelos cientistas?
b) Qual grupo de larvas representa o grupo de controle e qual é sua importância para o experimento?
c) Qual foi a variável testada nos grupos experimentais?
d) Que conclusões é possível tirar com base nos resultados do experimento?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

12. Atividade prática: Testando o papel dos cotilédones no desenvolvimento de plantas de feijão

A semente é uma estrutura vegetal em que estão contidos o embrião da planta e as reservas nutritivas para alimentá-lo no início de seu desenvolvimento. Os embriões de algumas plantas, como o feijoeiro, possuem folhas especializadas, denominadas cotilédones, nas quais ficam armazenados os nutrientes.

Nesta atividade, além de acompanhar a germinação e o desenvolvimento de um grupo de sementes de feijão, você poderá testar a hipótese de que os cotilédones armazenam alimento necessário ao desenvolvimento inicial da planta. Com base nessa hipótese, pode-se fazer a seguinte dedução: se os cotilédones forem removidos no início do desenvolvimento da planta, faltará alimento e ela não se desenvolverá adequadamente. O experimento consistirá, portanto, em remover periodicamente os cotilédones de algumas plantas de feijão, comparando seu desenvolvimento a um grupo de controle.

Antes de iniciar o experimento, familiarize-se com a anatomia de um grão de feijão. Coloque algumas sementes em um copo com água e deixe-as imersas por alguns minutos, até que a casca se enrugue e possa ser removida com facilidade. As metades do feijão correspondem aos cotilédones. Separe-os com cuidado e note como eles se ligam ao embrião, que já apresenta primórdios de folhas e da raiz bem evidentes. Se possível, utilize uma lente de aumento para observar essas estruturas. Faça um desenho esquemático com legendas de suas observações.

Material

- 56 sementes de feijão de tamanhos semelhantes e aparência saudável;
- 7 bandejas de plástico ou de isopor com aproximadamente 15 cm × 15 cm, com pequenos furos para drenar o excesso de água;
- areia fina para preencher cada bandeja com uma camada de cerca de 3 cm de espessura;
- pulverizador de água para umedecer as bandejas;
- tesoura de ponta fina;
- régua milimetrada;
- etiquetas adesivas para identificar as bandejas;
- caderno para anotação dos procedimentos e das observações;
- opcional: câmera fotográfica (pode ser do celular) para fotografar as etapas do experimento.

Procedimento

1. Coloque os feijões de molho em água e deixe-os imersos por uma noite. Prepare as bandejas de germinação, colocando em cada uma delas uma camada de areia com cerca de 3 cm de espessura.
2. Disponha 8 feijões em cada bandeja, a espaços regulares, enterrando-os mais ou menos 1 cm e cobrindo-os com areia. Umedeça diariamente a areia das bandejas com o pulverizador para que não resseque.
3. Observe diariamente as bandejas e faça anotações sobre o aspecto geral das plantas, sua coloração e se houve alguma morte.
4. Após a germinação, quando for possível visualizar os cotilédones presos ao caule, separe duas bandejas e identifique uma delas como "controle". Identifique a outra bandeja como "grupo experimental 1" e cuidadosamente remova, com a tesoura, os dois cotilédones de cada uma das plantas dessa bandeja.
5. Com uma régua milimetrada, meça a altura de cada planta do grupo de controle e do grupo experimental 1. Anote os resultados em uma tabela no caderno. Anote também a data da operação e considere-a o "dia zero" de seu experimento. Meça também a altura de cada uma das plantas das outras 5 bandejas, identificando cada uma delas: grupo experimental 2 a grupo experimental 6. Continue a cuidar normalmente de todas as bandejas.
6. No "dia 3" (três dias após o "dia zero"), pegue a bandeja identificada como "grupo experimental 2" e remova cuidadosamente os cotilédones de todas as suas plantas, como fez com o grupo 1.
7. Meça a altura de todas as plantas de cada uma das bandejas e anote a data e os resultados em uma tabela no caderno.
8. No sexto dia, pegue a bandeja identificada como "grupo experimental 3" e repita o procedimento de remoção dos cotilédones. Meça novamente a altura de todas as plantas e anote os resultados no caderno.
9. Repita o procedimento anterior nos dias 9 ("grupo experimental 4"), 12 ("grupo experimental 5") e 15 ("grupo experimental 6") do experimento. Ao final, você terá seis grupos experimentais e um grupo de controle.
10. No décimo oitavo dia, meça todas as plantas e dê por encerrado o experimento.

Análise do experimento

Para facilitar a interpretação dos dados coletados no experimento, vamos utilizar uma representação gráfica. Para isso, calcule a média das alturas

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

das plantas de cada grupo em cada um dos dias em que você fez a medição. Com esses valores, construa um gráfico de linhas, expressando a altura das plantas na ordenada e o tempo decorrido desde o início do experimento na abscissa. Se necessário, peça sugestões ao professor. Analise o gráfico obtido e reflita sobre as seguintes questões:

a) Houve diferença significativa entre o crescimento das plantas do grupo de controle e o das plantas dos grupos experimentais? Como esses resultados podem ser interpretados com base no que se sabe sobre o papel dos cotilédones na germinação?

b) Houve diferença entre os grupos experimentais? Em caso afirmativo, quais foram elas e como podem ser interpretadas?

c) Os resultados obtidos confirmam a hipótese da importância dos cotilédones para o desenvolvimento inicial das plantas de feijão? Por quê?

Redija um relatório do experimento nos moldes de uma comunicação científica. Para isso, escreva uma introdução para o trabalho, com informações obtidas na literatura sobre o papel dos cotilédones. Não se esqueça de mencionar as fontes consultadas e de citá-las no item "Referências bibliográficas", ao final do relatório. É importante incluir na introdução o objetivo da investigação, ou seja, a hipótese testada e a dedução feita a partir dela. Pense na hipótese que foi testada no experimento.

Após a introdução, inclua um item intitulado "Material e métodos", no qual devem ser descritos o material utilizado e o procedimento realizado, de modo que outra pessoa possa repetir o experimento e verificar os resultados.

No item do relatório intitulado "Resultados" é preciso descrever detalhadamente os resultados obtidos, com inclusão de ilustrações e fotografias devidamente identificadas, que exemplifiquem os resultados descritos, e também de tabelas e gráficos que sintetizem os dados coletados.

Para finalizar, inclua em seu relatório uma "Discussão", na qual os resultados obtidos devem ser relacionados ao que já se sabe sobre o assunto (a partir de livros de Biologia, revistas científicas etc.). Discuta se os resultados confirmam ou refutam a hipótese testada. Conclua sua comunicação com o item "Referências bibliográficas", em que são citadas as fontes nas quais foram obtidas as informações utilizadas na redação do trabalho.

Envie, por *e-mail*, seu trabalho para a avaliação e crítica de seus pares, isto é, seus colegas e seu professor. Eles podem criticá-lo e sugerir novas técnicas experimentais ou novos experimentos relacionados à sua hipótese. Reformule o trabalho em função das críticas recebidas e publique-o na internet, no jornal ou no mural da escola.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (UGF-RJ) Ao criar uma hipótese científica, o cientista procura 1. b

a) levantar uma questão ou problema.
b) explicar um fato e prever outros.
c) testar variantes.
d) comprovar teorias estabelecidas.
e) confirmar observações.

2. (Uerj) Até o século XVII, o papel dos espermatozoides na fertilização do óvulo não era reconhecido. O cientista italiano Lazzaro Spallanzani, em 1785, questionou se seria o próprio sêmen, ou simplesmente o vapor dele derivado, a causa do desenvolvimento do ovo. Do relatório que escreveu a partir de seus estudos sobre a fertilização, foi retirado o seguinte trecho:

"[...] para decidir a questão, é importante empregar um meio conveniente que permita separar o vapor da parte figurada do sêmen e fazê-lo de tal modo que os embriões sejam mais ou menos envolvidos pelo vapor".

Entre as etapas que constituem o método científico, esse trecho do relatório é um exemplo de 2. d

a) análise de dados.
b) coleta de material.
c) elaboração da hipótese.
d) planejamento do experimento.

3. (Fuvest-SP) Observando plantas de milho com folhas amareladas, um estudante de Agronomia considerou que essa aparência poderia ser devida à deficiência mineral do solo. Sabendo que a clorofila contém magnésio, ele formulou a seguinte hipótese: as folhas amareladas aparecem quando há deficiência de sais de magnésio no solo. Qual das alternativas descreve um experimento correto para testar tal hipótese? 3. e

a) Fornecimento de sais de magnésio ao solo em que as plantas estão crescendo e observação dos resultados alguns dias depois.
b) Fornecimento de uma mistura de diversos sais minerais, inclusive sais de magnésio, ao solo em que as plantas estão crescendo e observação dos resultados dias depois.
c) Cultivo de um novo lote de plantas em solo suplementado com uma mistura completa de sais minerais, incluindo sais de magnésio.
d) Cultivo de novos lotes de plantas, fornecendo à metade deles mistura completa de sais minerais, inclusive sais de magnésio, e, à outra metade, apenas sais de magnésio.
e) Cultivo de novos lotes de plantas, fornecendo à metade deles mistura completa de sais minerais, inclusive sais de magnésio, e, à outra metade, uma mistura com os mesmos sais, menos os de magnésio.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. (UFRGS-RS) Numa experiência controlada o grupo controle tem por objetivo 4. d

a) testar outras variantes do resultado previsto.

b) confirmar as conclusões obtidas com o grupo experimental.

c) desmentir as conclusões obtidas com o grupo experimental.

d) servir de referência padrão em face dos resultados fornecidos pelo grupo experimental.

e) testar a eficiência dos equipamentos usados na experiência.

5. (UFMG) Um estudante decidiu testar os resultados da falta de determinada vitamina na alimentação de um grupo de ratos. Colocou então cinco ratos em uma gaiola e retirou de sua dieta os alimentos ricos na vitamina em questão. Após alguns dias, os pelos dos ratos começaram a cair. Concluiu então que esta vitamina desempenha algum papel no crescimento e manutenção dos pelos. Sobre essa experiência podemos afirmar 5. c

a) A experiência obedeceu aos princípios do método científico, mas a conclusão do estudante pode não ser verdadeira.

b) A experiência foi correta e a conclusão também. O estudante seguiu as normas do método científico adequadamente.

c) A experiência não foi realizada corretamente porque o estudante não usou um grupo controle.

d) O estudante não fez a experiência de forma correta, pois não utilizou instrumentos especializados.

e) A experiência não foi correta porque a hipótese do estudante não era uma hipótese passível de ser testada experimentalmente.

6. (Vunesp) A sequência indica os crescentes níveis de organização biológica: célula → I → II → III → → população → IV → V → biosfera

Os níveis I, III e IV correspondem, respectivamente, a 6. b

a) órgão, organismo e comunidade.

b) tecido, organismo e comunidade.

c) órgão, tecido e ecossistema.

d) tecido, órgão e bioma.

e) tecido, comunidade e ecossistema.

7. (UFPB) Em nosso planeta, o que distingue a matéria viva da não viva é a presença de elementos químicos (C, H, O, N) que, junto com outros, formam as substâncias orgânicas. Os seres vivos são formados a partir de níveis bem simples e específicos até os mais complexos e gerais. Numa ordem crescente de complexidade, estes níveis têm a seguinte sequência: 7. d

a) biosfera, ecossistema, comunidade, população, organismo, sistema, órgão, tecido, célula, molécula.

b) molécula, célula, tecido, organismo, órgão, população, comunidade, ecossistema, sistema, biosfera.

c) molécula, célula, tecido, órgão, organismo, população, comunidade, sistema, ecossistema, biosfera.

d) molécula, célula, tecido, órgão, sistema, organismo, população, comunidade, ecossistema, biosfera.

e) biosfera, comunidade, população, ecossistema, sistema, órgão, organismo, tecido, célula, molécula.

8. (UFSC) Ao examinar um fenômeno biológico, o cientista sugere uma explicação para o seu mecanismo, baseando-se na causa e no efeito observados. Esse procedimento

01) faz parte do método científico.

02) é denominado formulação de hipóteses.

04) poderá ser seguido de uma experimentação.

08) deve ser precedido de uma conclusão.

Dê como resposta a soma dos números associados às alternativas corretas. 8. 01 + 02 + 04 = 07

Questões discursivas

9. (Vunesp) Considere a afirmação: "As populações daquele ambiente pertencem a diferentes espécies de animais e vegetais". Que conceitos estão implícitos nessa frase, se levarmos em consideração

a) somente o conjunto de populações?

b) o conjunto de populações mais o ambiente abiótico?

10. (Unicamp-SP) Sobre uma mesa há dois ratinhos semelhantes, em tamanho, forma e cor. Um deles goteja um pouco de líquido, desloca-se em linha reta até cair da mesa e emite um ruído como de engrenagens, que logo cessa. O outro ratinho percorre a mesa em linha sinuosa, vai até a borda e volta. Anda para lá e para cá, parecendo indeciso, como à procura de algo. De repente, dirige-se para um punhado de grãos, dos quais alguns são mordiscados e ingeridos. Em seguida esse ratinho urina e defeca e, depois disso, volta para junto de seus filhotes numa caixinha em cima da mesa. Descreva pelo menos três características, percebidas a partir da descrição acima, que permitam concluir que um dos ratinhos é um ser vivo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 2

Origem da vida na Terra

NOAA GOES/NASA

"A Terra é azul e eu não vi Deus!" Quem disse essa frase foi o cosmonauta russo Yuri Gagarin (1934-1968), há mais de 50 anos, o primeiro ser humano a ver nosso planeta do espaço. Em 20 de julho de 1969, o estadunidense Neil Armstrong (1930-2012) pisou na Lua, de onde se descortina uma bela visão do nosso planeta azul. Como a vida surgiu aqui? Há vida em outros planetas? (Na imagem, foto de satélite do planeta Terra em 22 de abril de 2014.)

À procura de nossas origens

De onde viemos? Com certeza, a maioria de nós já fez essa pergunta em diferentes idades e de diversas maneiras. Geralmente, primeiro queremos saber como surgem os bebês. Superada essa curiosidade, passamos a querer saber como surgiram nossa espécie, os outros seres vivos, a Terra e o universo.

Até pouco mais de três séculos atrás, as principais explicações para nossa origem eram de caráter religioso, segundo as quais o universo teria sido criado por divindades supremamente poderosas. Nas últimas décadas, o desenvolvimento da ciência tem trazido novos dados para essa antiga discussão. Os avanços da Cosmologia, ramo da ciência que estuda os corpos celestes e o espaço sideral, levaram os cientistas a imaginar uma nova explicação para a origem do universo, que ficou conhecida como a teoria da grande explosão ou do *big bang*. Segundo ela, tudo o que existe, incluindo o tempo e o espaço, teria surgido há cerca de 13,8 bilhões de anos a partir da expansão súbita e violenta de uma desconhecida "semente" cósmica. Desde essa explosão primordial, o universo vem evoluindo, com a formação de galáxias, de estrelas e de muitos outros corpos celestes, entre eles a Terra.

Aqui, supostamente há mais de 3,5 bilhões de anos surgiu a vida, fenômeno ainda não confirmado em nenhum local fora da Terra. Os cientistas acreditam que os primeiros seres vivos deviam ser extremamente simples, constituídos por uma única célula dotada de organização rudimentar. Ao longo de mais de 3,5 bilhões de anos de evolução, os descendentes daqueles primeiros seres colonizaram todos os ambientes do planeta, modificaram-se e originaram a imensa variedade de espécies atuais, entre elas a espécie humana.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ao contrário das muitas religiões que consideram a espécie humana objeto central da criação, a ciência situa o aparecimento de nossa espécie no grande panorama da evolução cósmica. Para os cientistas, há continuidade evolutiva desde o momento do *big bang* até os dias de hoje.

Neste capítulo apresentamos resumidamente as ideias científicas atuais sobre a formação do universo e da Terra, tendo como principal objetivo mostrar a visão científica da origem da vida em nosso planeta. Para os cientistas, esse assunto ainda é objeto de intensos debates: alguns acreditam que a vida surgiu na Terra a partir de uma lenta evolução química de gases atmosféricos, enquanto outros defendem que a vida pode ter sido semeada na Terra por cometas e asteroides que atingiram a superfície terrestre.

A todo momento novas descobertas e novas interpretações dos fatos podem modificar a visão que temos hoje. Informe-se e mantenha-se atualizado nas discussões que vêm sendo travadas, ao longo da história, sobre a origem da vida na Terra.

A importância do assunto

Uma pergunta que alguns estudantes costumam fazer é: por que estudar a história da Terra em Biologia? Esse não seria um assunto a ser estudado em Geografia ou Geologia? A razão de tornar nosso estudo mais abrangente é que a vida está intimamente ligada às características físicas, químicas e estruturais do planeta e toda espécie de ser vivo está adaptada às condições do ambiente onde vive. Assim, saber como a Terra surgiu e como mudou no decorrer do tempo é importante para compreendermos a história da vida.

Entender a vida do ponto de vista de sua história permite compreender semelhanças e diferenças entre as espécies biológicas, sua distribuição geográfica e as interações que mantêm entre si e com o ambiente; enfim, é a visão histórica e evolucionista da vida que dá sentido aos fatos biológicos. Como disse o biólogo ucraniano, naturalizado estadunidense, Theodosius Dobzhansky (1900-1975): "Interpretada à luz da evolução, a Biologia é, talvez, do ponto de vista intelectual, a mais inspirada e satisfatória das ciências. [...] Sem essa luz, a Biologia torna-se uma miscelânea de fatos – alguns deles interessantes ou curiosos –, mas desprovidos de significado [...]".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

2.1 A origem do universo e do Sistema Solar

O tema deste tópico oferece a oportunidade de integração com a disciplina de Física para eventualmente trabalhar conteúdos e atividades interdisciplinares relativos à origem do universo, à teoria do *big bang*, ao surgimento de estrelas e de sistemas solares etc. Ainda que de maneira informal, vale a pena conversar a respeito desses assuntos com seus colegas da disciplina de Física.

A teoria do *big bang* ou teoria da grande explosão

Os avanços da Cosmologia e da Física, no início do século XX, levaram à formulação de uma nova explicação científica para a origem do universo: a **teoria do *big bang*** ou, traduzindo a expressão em inglês, **teoria da grande explosão**. Atualmente bastante aceita pela comunidade científica, essa teoria propõe que o universo tenha se originado de um ponto extremamente compacto, de densidade infinita, que, por razões ainda desconhecidas, explodiu há cerca de 13,8 bilhões de anos e se expandiu de modo violento. Segundo essa teoria, o universo continua em expansão até hoje. Nessa "explosão" primordial, denominada *big bang*, teriam surgido simultaneamente o espaço, o tempo, a energia e a matéria que compõem o universo.

Tudo indica que, imediatamente após o *big bang*, a temperatura era tão elevada que impossibilitava a existência da matéria como hoje a conhecemos. Entretanto, a rápida expansão do universo fez a temperatura diminuir; ao fim do primeiro minuto, teriam surgido núcleos atômicos do elemento químico mais simples, o hidrogênio, além de núcleos de hélio e pequenas quantidades de núcleos de lítio. Átomos propriamente ditos só se formariam mais tarde, quase 400 mil anos depois do *big bang*.

Quando o universo completou algumas centenas de milhões de anos, começaram a surgir as primeiras estrelas, corpos celestes de grandes dimensões, formadas basicamente por átomos de hidrogênio e de hélio. Ao mesmo tempo a atração gravitacional levou à formação de conjuntos de estrelas e de matéria cósmica, as primeiras galáxias.

A origem do Sistema Solar

Os cientistas estimam que o **Sistema Solar**, conjunto formado pelo Sol, planetas, satélites, cometas e outros corpos celestes, surgiu há cerca de 4,6 bilhões de anos a partir de uma nebulosa – aglomeração de gases e de poeira interestelar – presente na galáxia denominada Via Láctea. Acredita-se que os gases da nebulosa que originou o Sistema Solar eram predominantemente gás hidrogênio (H_2) e gás hélio (He). A poeira interestelar era constituída principalmente por grânulos de carbono e de silicatos.

A atração gravitacional entre as partículas da nebulosa fez com que ela se tornasse cada vez mais compacta. Após alguns milhões de anos de compactação devido à gravidade, a temperatura no centro da nebulosa teria atingido cerca de 10 milhões de graus Celsius (10.000.000 °C), ocasionando reações de fusão nuclear em cadeia, com liberação de muita energia e elevação da temperatura. Nesse ponto, a massa central compactada da nebulosa passou a emitir luz, constituindo uma estrela amarela – o **Sol** –, uma entre os mais de 100 milhões de estrelas presentes na Via Láctea.

Os cientistas acreditam que, ao mesmo tempo que o Sol se formava no centro da nebulosa, também ocorreram condensações em pontos periféricos do disco de matéria que girava em torno do centro, originando planetas e outros corpos celestes do Sistema Solar, como satélites, asteroides e cometas. (Fig. 2.1)

SIMONKA

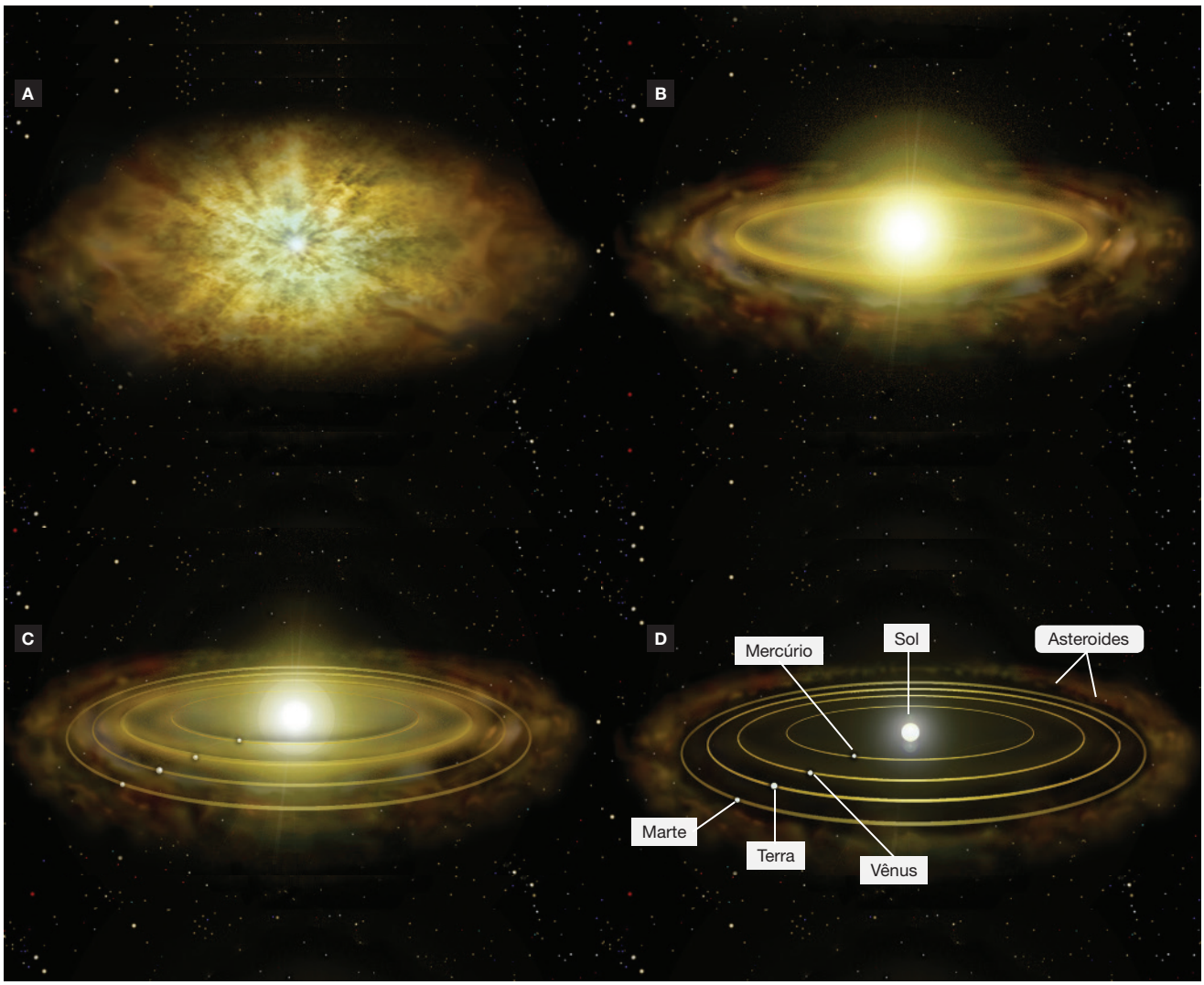


Figura 2.1 Concepção artística da formação do Sistema Solar. **A.** Nebulosa primordial. **B.** Condensação da matéria no centro, originando o Sol, e formação do disco de matéria girando ao seu redor. **C.** Condensações em pontos periféricos do disco giratório, que resultaria nos demais astros do Sistema Solar. **D.** Parte mais interna do Sistema Solar mostrando o Sol com os planetas mais próximos, satélites, asteroides e cometas que orbitam ao seu redor. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A formação da Terra

Evidências científicas sugerem que o planeta **Terra** formou-se entre 4,6 bilhões e 4,5 bilhões de anos atrás, a partir da aglomeração de minerais, poeira cósmica e gases presentes no disco de matéria que orbitava o Sol. A agregação progressiva desse material gerou grande pressão no interior da Terra em formação, com aumento da temperatura e derretimento dos materiais rochosos mais internos, que escapavam para a superfície terrestre na forma de lava incandescente. Além dessa intensa atividade interna, a jovem Terra também era continuamente bombardeada por asteroides vindos do espaço, que se chocavam com a superfície terrestre em eventos catastróficos, contribuindo para o aumento da temperatura e da massa planetárias. Admite-se que nenhum tipo de vida como a que conhecemos hoje poderia ter existido em condições tão adversas quanto as reinantes na Terra em seus primeiros 700 milhões de anos de existência.

A Terra em formação estava envolta por uma atmosfera constituída principalmente de gás carbônico (CO_2), gás metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) e gás nitrogênio (N_2), além de vapor-d'água (H_2O). A maioria dos cientistas concorda com essa suposta composição da atmosfera da Terra primitiva, ainda que haja discordância sobre a origem desses gases. Uma corrente científica defende a hipótese de que a água e os gases da atmosfera terrestre originaram-se no interior do próprio planeta. Outros, com base em recentes descobertas na pesquisa espacial, defendem a ideia de que a maior parte da água e dos gases atmosféricos teria chegado a bordo de cometas e asteroides.

Independentemente da origem dos gases atmosféricos terrestres, com o passar do tempo a superfície da Terra primitiva foi esfriando devido à contínua perda de calor para o espaço. O resfriamento possibilitou a formação de uma fina camada de material rochoso sólido em torno do planeta, a crosta terrestre. Entretanto, a crosta ainda era quente demais para permitir que se acumulasse água no estado líquido sobre ela. Nas camadas superiores da atmosfera, mais frias, o vapor-d'água se condensava, produzindo nuvens que se precipitavam em forma de chuva. Na superfície, por causa das altas temperaturas, toda a água voltava a evaporar, e o processo se repetia. Passou muito tempo até que esse quadro mudasse. Acredita-se que, na Terra de pouco mais de 500 milhões de anos de idade, tempestades torrenciais caíram sem intervalos durante milhões de anos seguidos.

A partir de determinado momento, a superfície da Terra já havia esfriado o suficiente para que água líquida pudesse se acumular em depressões da crosta terrestre, formando imensas áreas alagadas precursoras dos oceanos. Provavelmente foi em um cenário como esse que surgiram os primeiros seres vivos, dos quais descendem todas as formas de vida. (Fig. 2.2)

Figura 2.2 Representações artísticas das mudanças que teriam ocorrido gradualmente no ambiente da Terra primitiva. **A.** Resfriamento superficial suficiente para início da formação da crosta terrestre, intensa atividade vulcânica e bombardeamento por corpos celestes. **B.** O resfriamento da crosta progride, mas ainda não permite acúmulo de água líquida. **C.** A crosta fica suficientemente fria, o que permite a formação dos primeiros mares.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Este tópico fornece as bases do pensamento evolucionista para a origem da vida, admitindo-a como um processo natural e compatível com a evolução do universo. É possível discutir com os estudantes sobre os poderes e as limitações da ciência; esta se aplica apenas ao mundo natural e não se propõe a resolver questões de ordem espiritual, religiosa ou moral, embora possa eventualmente contribuir para essas reflexões. A polêmica sobre a origem da vida costuma despertar o interesse dos estudantes e é importante para mudar a concepção dogmática e equivocada sobre a infalibilidade da ciência.

2.2 Como surgiu a vida na Terra?

A queda da teoria da geração espontânea

Recentemente, por exemplo, um grupo de cientistas ligados às pesquisas espaciais norte-americanas sugeriu que o bombardeio da Terra por grandes corpos celestes devia ser muito intenso logo após a formação do planeta. Segundo essa hipótese, a maior parte da água e dos gases atmosféricos teria sido trazida para a Terra por cometas e asteroides, que também teriam transportado substâncias orgânicas precursoras da vida. Em ciência, não há verdades imutáveis, e o conhecimento é continuamente construído e reconstruído. Esse é um ponto essencial a ser trabalhado com os estudantes.

Até meados do século XVII era muito difundida a crença de que os seres vivos haviam sido criados por divindades, doutrina denominada criacionismo. Admitia-se também que alguns tipos de seres vivos podiam ser gerados espontaneamente a partir da matéria sem vida, ou mesmo pela transformação de outros seres vivos. Essa era a base da **teoria da geração espontânea**, também chamada de **teoria da abiogênese**.

A teoria da abiogênese, entretanto, não resistiu à expansão do conhecimento científico e aos rigorosos testes realizados por cientistas criteriosos como Redi, Spallanzani e Pasteur, entre outros. Esses pesquisadores forneceram as primeiras evidências científicas de que os seres vivos surgem somente pela reprodução de seres de sua própria espécie, ideia que ficou conhecida como **teoria da biogênese**.

O experimento de Redi

Um dos primeiros experimentos científicos sobre a origem de seres vivos foi realizado em meados do século XVII pelo médico italiano Francesco Redi (1626-1697). Na época, muitos acreditavam que os seres vermiformes sempre vistos em cadáveres de pessoas e de animais surgiam por transformação espontânea da carne em putrefação. Redi não concordava com essa ideia e formulou a hipótese de que esses "vermes" eram estágios imaturos, ou larvas, do ciclo de vida de moscas. Redi acreditava que as larvas nasciam dos ovos colocados por moscas na carne, e não por geração espontânea.

Em seu livro intitulado *Experimentos sobre a geração de insetos* (em latim, *Experimenta circa generationem insectorum*), Redi conta como teve a ideia de que os seres vermiformes presentes nos cadáveres eram parte do ciclo de vida de moscas. Ao ler o poema épico *Ilíada*, datado do século IX ou VIII a.C., cuja autoria é atribuída ao grego Homero, o médico italiano se perguntou por que, no canto XIX da *Ilíada*, Aquiles teme que o corpo de Pátrocles se torne presa das moscas. Por que, questiona Redi, Aquiles pede a Tétis que proteja o corpo contra os insetos que poderiam dar origem a vermes e corromper a carne do morto? Redi concluiu que os antigos gregos já sabiam que as larvas encontradas nos cadáveres se originavam de moscas que pousavam sobre eles e ali depositavam seus ovos. (Fig. 2.3)

GIOVANNI ANTONIO PELLEGRINI – MUSÉE MUNICIPAL, SOISSONS, FRANCE

Figura 2.3 *Aquiles contemplando o corpo de Pátrocles*, pintura de Giovanni Antonio Pellegrini, c. 1700. (Óleo sobre tela, 152,5 cm × 195,5 cm. Museu Municipal de Soissons, França.) A cena retrata uma passagem do poema *Ilíada*, atribuído a Homero, que serviu de inspiração para Redi idealizar seu experimento.

Seguindo os procedimentos da ciência moderna, Redi raciocinou que, se os seres vermiformes realmente surgem a partir de ovos colocados por moscas – essa é a hipótese –, então eles não aparecerão se impedirmos que moscas pousem na carne – essa é uma dedução a partir da hipótese. Para testar sua hipótese, Redi realizou o seguinte experimento: distribuiu animais mortos em diversos frascos de boca larga, vedando alguns deles com uma gaze muito fina e deixando outros abertos. Nestes últimos, nos quais as moscas podiam entrar e sair livremente, logo surgiram seres vermiformes. Nos frascos tapados com gaze, que impedia a entrada das moscas, não apareceu nenhum "verme", mesmo passados muitos dias. Desse modo, a dedução a partir da hipótese foi confirmada e a hipótese, aceita. (Fig. 2.4)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

JURANDIR RIBEIRO

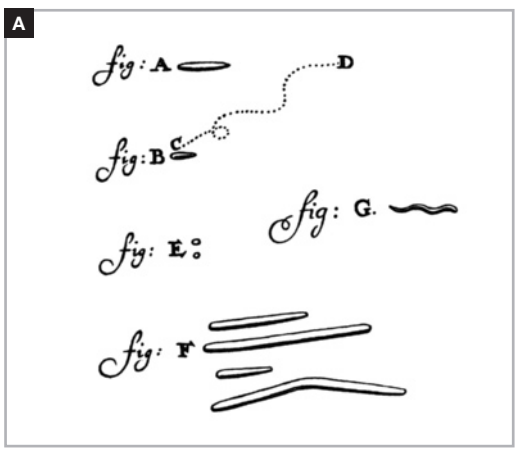
Figura 2.4 Representação do experimento de Redi, que descartou a hipótese da geração espontânea dos "vermes" (larvas) que surgem na carne em putrefação. No frasco à esquerda, tapado com gaze, não surgiram larvas. No frasco à direita, no qual as moscas puderam entrar, apareceram larvas, que se alimentavam da carne. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Needham *versus* Spallanzani

A teoria da geração espontânea perdeu credibilidade com os experimentos de Redi, mas voltou a ser utilizada para explicar a origem dos seres microscópicos, ou microrganismos, descobertos em meados do século XVII pelo holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723). (Fig. 2.5)

Essa teoria parecia realmente adequada para explicar a origem dos microrganismos, pois era difícil imaginar que seres aparentemente tão simples, presentes em quase todos os lugares, pudessem surgir por meio da reprodução. Muitos estudiosos, porém, estavam convencidos de que a geração espontânea não ocorria nem para seres grandes nem para seres microscópicos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



REPRODUÇÃO – ANTONIE VAN LEEUWENHOEK

ANTONIE VAN LEEUWENHOEK – MUSEUM BOERHAAVE, LEIDEN, NETHERLANDS

Figura 2.5 A. Desenhos de seres microscópicos, popularmente chamados de micróbios, realizados por Leeuwenhoek em 1683. **B.** *Retrato de Antonie van Leeuwenhoek, filósofo natural e zoologista, em Delft*, c. 1680, de Jan Verkolje. (Óleo sobre tela, 56 × 47,5 cm. Museu Boerhaave, Holanda.)

Em 1745, o inglês John Needham (1713-1781) realizou o seguinte experimento: distribuiu caldo nutritivo em diversos frascos, que foram fervidos por 30 minutos e imediatamente fechados com rolhas de cortiça. Depois de alguns dias, os caldos estavam repletos de seres microscópicos. Assumindo que a fervura eliminara todos os seres eventualmente existentes no caldo original e que nenhum ser vivo poderia ter penetrado através das rolhas, Needham argumentou que só havia uma explicação para a presença de microrganismos nos frascos: eles haviam surgido por geração espontânea.

O padre e pesquisador italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799) refez os experimentos de Needham. Ele preparou oito frascos com caldos nutritivos previamente fervidos: quatro deles foram fechados com rolhas de cortiça, como fizera Needham, e os outros quatro tiveram os gargalos derretidos no fogo, de forma a adquirirem uma vedação hermética. Além disso, os frascos foram fervidos durante longo tempo. Após alguns dias, microrganismos haviam surgido nos frascos arrolhados com cortiça, mas não nos frascos cujos gargalos tinham sido hermeticamente fechados no fogo. Spallanzani concluiu que a vedação ou o tempo curto de fervura utilizados por Needham, ou ambos, haviam sido incapazes de impedir a contaminação do caldo.

Em resposta a Spallanzani, Needham alegou que, devido à fervura prolongada, o caldo poderia ter perdido sua "força vital", um princípio imaterial que seria indispensável ao surgimento de vida. Spallanzani, então, quebrou os gargalos fundidos de alguns frascos, que ainda se mantinham livres de microrganismos, expondo seu conteúdo ao ar. Em pouco tempo, eles ficaram repletos de microrganismos, mostrando que a fervura prolongada não havia destruído a "força vital" do caldo. Needham contra-argumentou mais uma vez, sugerindo a hipótese de que o princípio ativo, embora deteriorado pelo longo tempo de fervura, se restabelecera com a entrada de ar fresco, permitindo que os microrganismos surgissem espontaneamente. Dessa vez, Spallanzani não conseguiu elaborar um experimento para descartar o contra-argumento de Needham, e a controvérsia não foi resolvida.

Pasteur e a derrubada da abiogênese

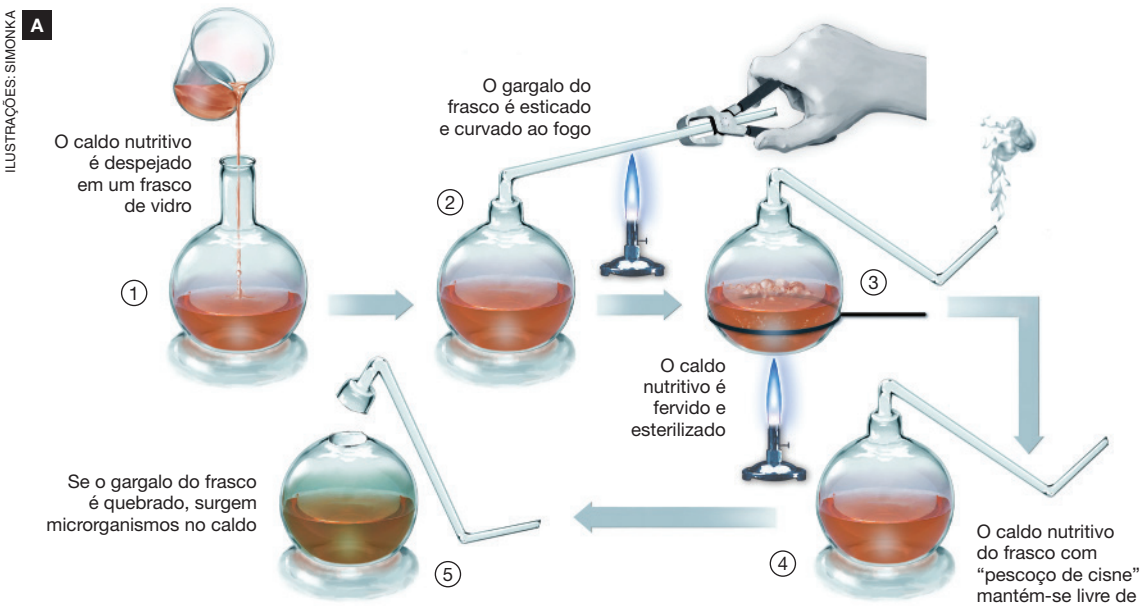
No início da década de 1860, a Academia Francesa de Ciências ofereceu um prêmio em dinheiro para quem realizasse um experimento definitivo sobre a origem dos microrganismos. Estimulado pelo desafio, o pesquisador francês Louis Pasteur (1822-1895) começou a trabalhar no assunto.

Em um de seus muitos experimentos, Pasteur distribuiu caldo nutritivo em quatro frascos de vidro, cujos gargalos foram amolecidos ao fogo, o que permitiu serem esticados e curvados na forma de um pescoço de cisne. Na sequência, o cientista francês aqueceu o caldo até que saísse vapor pelas extremidades dos gargalos curvos, deixando depois que o caldo resfriasse lentamente. O objetivo de Pasteur, ao curvar os gargalos dos frascos, era manter livre a entrada de ar, mas fazendo com que as partículas em suspensão ficassem retidas nas paredes do gargalo curvo, que assim funcionaria como um filtro.

Apesar de o caldo estar em contato direto com o ar, não surgiram microrganismos em nenhum dos quatro frascos com "pescoço de cisne" preparados por Pasteur em seu experimento. Microrganismos presentes no ar ficavam retidos nas curvas do gargalo e não conseguiam chegar ao líquido do frasco.

Para confirmar essa hipótese, Pasteur quebrou o gargalo de alguns frascos, verificando que, em poucos dias, seus conteúdos ficaram repletos de microrganismos. O experimento demonstrou que o surgimento de microrganismos em caldos nutritivos se dá pela contaminação por germes provenientes do ambiente externo, e não por geração espontânea. (Fig. 2.6)

ILUSTRAÇÕES: SIMONKA



BSIP/UIG VIA GETTY IMAGES

Figura 2.6 A. Etapas do experimento realizado por Pasteur, que sepultou definitivamente a teoria da geração espontânea. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) **B.** Frascos usados por Pasteur em seus experimentos são mantidos até hoje no Museu do Instituto Pasteur, em Paris, França.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Pesquisas sobre geração espontânea levaram a novas tecnologias

É interessante pensar que os experimentos pioneiros de Spallanzani sobre geração espontânea abriram caminho para o desenvolvimento da indústria de alimentos enlatados. Ao saber das pesquisas e das controvérsias sobre a origem dos microrganismos, o confeiteiro francês Nicholas Appert (1749-1841) suspeitou que eles poderiam ser responsáveis pela deterioração dos alimentos, problema então enfrentado pelos fabricantes de produtos alimentícios. Partindo do princípio de que caldos nutritivos previamente fervidos podiam ser guardados sob vedação hermética sem estragar, como Spallanzani havia demonstrado, Appert desenvolveu uma tecnologia para produzir alimentos em conserva, que podiam ser armazenados por longo tempo sem sofrer deterioração.

A história da fermentação remonta à década de 1850. Naquela época, Louis Pasteur, já famoso por seus estudos sobre os microrganismos, interessou-se por um problema de deterioração do vinho que afetava a indústria vinícola de Arbois (França), sua terra natal. Em experimentos anteriores, ele próprio já demonstrara que a transformação do suco de uvas em vinho resulta da atividade de microrganismos denominados leveduras ou fermentos. Sua hipótese, agora, era que a deterioração do vinho decorria da contaminação por outro tipo de microrganismo.

Ao observar ao microscópio amostras de vinhos estragados, Pasteur encontrou outros microrganismos além das leveduras, o que reforçava sua hipótese. A questão era: como se livrar desses invasores indesejáveis sem alterar o sabor do vinho? Este não podia ser fervido, pois perderia totalmente suas qualidades. Pasteur descobriu então que o aquecimento do vinho por apenas alguns minutos, a 57 °C, era suficiente para eliminar os microrganismos indesejáveis sem alterar o sabor da bebida; com isso, estava inventado o processo que, em sua homenagem, recebeu o nome de pasteurização.

A **pasteurização**, tecnologia para a eliminação seletiva de microrganismos pelo aquecimento brando, é largamente empregada na indústria de alimentos nos dias atuais. Em diversos países, incluindo o Brasil, é obrigatório pasteurizar o leite e seus derivados antes de comercializá-los. Nesse processo, o leite é mantido a 62 °C por 30 minutos, o que elimina a bactéria *Mycobacterium tuberculosis*, um microrganismo frequentemente presente no gado bovino e que pode causar tuberculose no ser humano. A pasteurização elimina também outros microrganismos responsáveis pela deterioração do leite, prolongando sua vida útil.

2.3 Ideias modernas sobre a origem da vida

A origem pré-biológica dos precursores da vida

Com o descrédito da teoria da geração espontânea e consolidação da teoria da biogênese, uma nova questão sobressaiu: se os seres vivos não provêm da matéria inanimada, mas apenas por reprodução de outros seres vivos, como eles surgiram na Terra pela primeira vez? De onde teriam vindo as moléculas orgânicas que originaram os primeiros seres vivos?

Ainda não há resposta definitiva para essa questão. Uma das possibilidades, embasada em descobertas recentes, é que substâncias precursoras da vida tenham vindo do espaço sideral, trazidas por cometas e asteroides. Há experiências, no entanto, que demonstram que a combinação química de substâncias inorgânicas gasosas presentes na Terra primitiva poderia ter originado moléculas orgânicas.

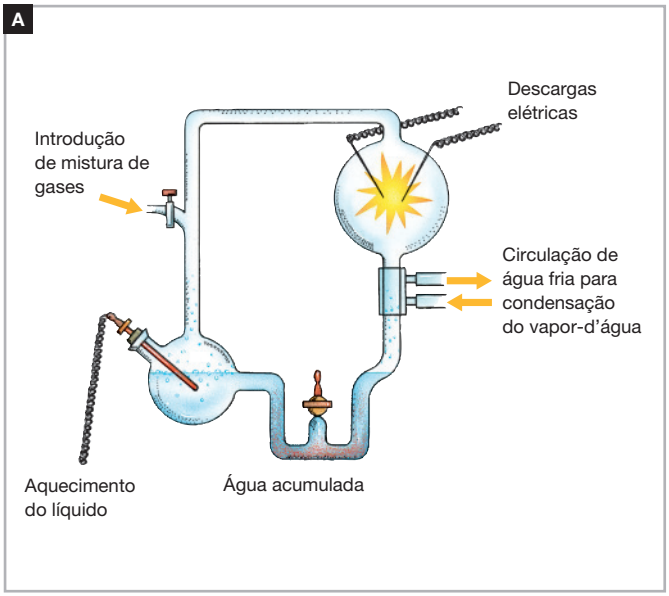
A primeira experiência nessa direção foi idealizada pelo químico estadunidense Stanley Lloyd Miller (1930-2007) e estabeleceu as bases experimentais da evolução molecular na origem da vida. Em 1953, Stanley Miller, um jovem aluno do eminente químico Harold C. Urey (1893-1981), construiu um aparelho que simulava as condições supostamente existentes na Terra primitiva. Nesse simulador, formado por tubos e balões de vidro interligados, Miller colocou uma mistura de metano (CH_4), amônia (NH_3), hidrogênio (H_2) e vapor-d'água (H_2O), gases que, se supunha na época, constituíam a atmosfera da primitiva Terra quando a vida surgiu.

A mistura gasosa foi submetida ao calor e a fortes descargas elétricas por alguns dias. Segundo Miller, essas deviam ser as condições atmosféricas no início da existência de nosso planeta. No simulador havia também um condensador, no qual a mistura de gases era resfriada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O vapor-d'água presente na mistura se condensava e escorria para a parte inferior do aparelho, onde se acumulava. Com isso, Miller simulava as chuvas e o acúmulo de água nos mares e lagos da Terra primitiva. Por fim, um aquecedor fazia ferver a água acumulada, que voltava a se transformar em vapor, simulando a evaporação da água na superfície quentíssima da jovem Terra. Após deixar o simulador funcionando por cerca de uma semana, Miller realizou testes químicos no líquido avermelhado que se acumulara na parte inferior do aparelho e encontrou várias substâncias ausentes no início do experimento, entre elas os aminoácidos alanina e glicina, além de outras substâncias orgânicas mais simples. (Fig. 2.7)

ADILSON SECCO



ROGER RESSMEYER/CORBIS/LATINSTOCK

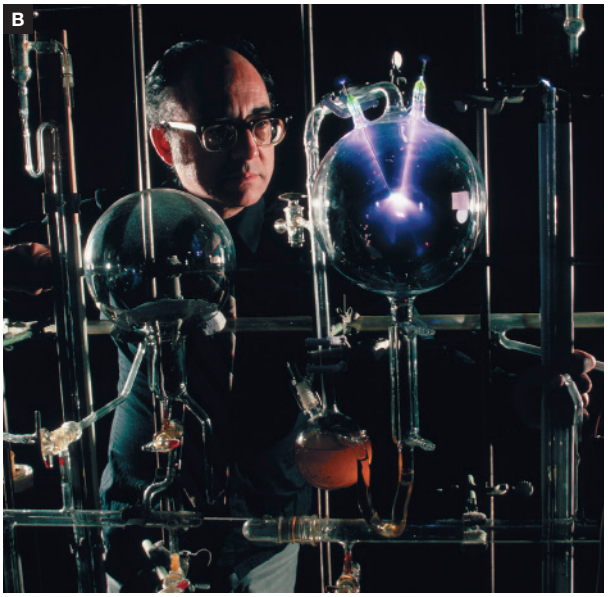


Figura 2.7 A. Representação esquemática do simulador utilizado por Miller em seu experimento sobre a origem da vida. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) **B.** Stanley Miller usando os equipamentos de seu laboratório original para recriar seu experimento da década de 1950. (Fotografia de 1983.)

Esse experimento tem hoje significado apenas histórico, pois novos dados sugerem que a composição atmosférica da Terra primitiva era diferente da mistura de gases empregada no simulador de Miller. Evidências recentes indicam que a atmosfera terrestre, entre 4 e 3,5 bilhões de anos atrás, era provavelmente constituída por 80% de gás carbônico (CO_2), 10% de metano (CH_4), 5% de monóxido de carbono (CO) e 5% de gás nitrogênio (N_2), além de vapor-d'água.

Seguindo os passos de Miller, diversos outros experimentos simularam as condições supostamente existentes na Terra primitiva, com produção de diversas substâncias orgânicas encontradas nos seres vivos. Isso dá sustentação à hipótese de que, nas condições reinantes nos primórdios do nosso planeta, a matéria precursora da vida poderia ter surgido por um processo abiogênico.

Teoria da evolução molecular

Uma questão que ainda desafia os cientistas é: como os ingredientes precursores puderam originar complexos moleculares dotados de metabolismo e de reprodução, ou seja, seres vivos?

Atualmente, a maioria dos cientistas defende a ideia de que a vida surgiu por um longo processo de evolução molecular, em que, inicialmente, compostos inorgânicos presentes na Terra primitiva reagiram entre si, originando moléculas orgânicas como aminoácidos, pequenos açúcares, bases nitrogenadas, ácidos graxos etc. Na sequência, ao encontrar condições adequadas, essas primeiras moléculas orgânicas teriam se recombinado de várias maneiras, produzindo moléculas mais complexas, como proteínas, lipídios e ácidos nucleicos. Finalmente, essas moléculas orgânicas teriam originado "estruturas" capazes de controlar suas próprias reações químicas e de se autoduplicar. Tais atributos seriam os primeiros esboços do metabolismo e da reprodução, duas características fundamentais dos seres vivos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Há cientistas, no entanto, que defendem a ideia de que a vida na Terra surgiu pela colonização do planeta por substâncias precursoras de vida (ou mesmo seres vivos) provenientes de outros locais do cosmo. Essa é a base da **hipótese da panspermia**, que voltou a ganhar força nos últimos anos com a descoberta de substâncias orgânicas em meteoritos, asteroides e cometas. (Fig. 2.8)

Os estudos da origem da vida enfrentam uma grande dificuldade: a falta de vestígios dos primeiros seres vivos, quase totalmente destruídos pelas drásticas transformações ocorridas na crosta terrestre nos primeiros milhões de anos de sua existência. Já foram encontrados vestígios de atividade biológica em rochas datadas de 2,7 bilhões de anos, provavelmente deixados por ancestrais de cianobactérias. Acredita-se, entretanto, que a vida na Terra teve início muito antes, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos, embora não existam evidências fósseis disso.

HENRY BORTMAN/NASA

Figura 2.8 Astrobióloga coletando amostras no Lago Mono (Califórnia, EUA, 2010). Nesse lago foram encontrados microrganismos vivendo em condições até então consideradas impróprias para a existência de vida. Essa descoberta sugere a existência de vida em outros lugares do cosmo, apoiando a hipótese da panspermia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

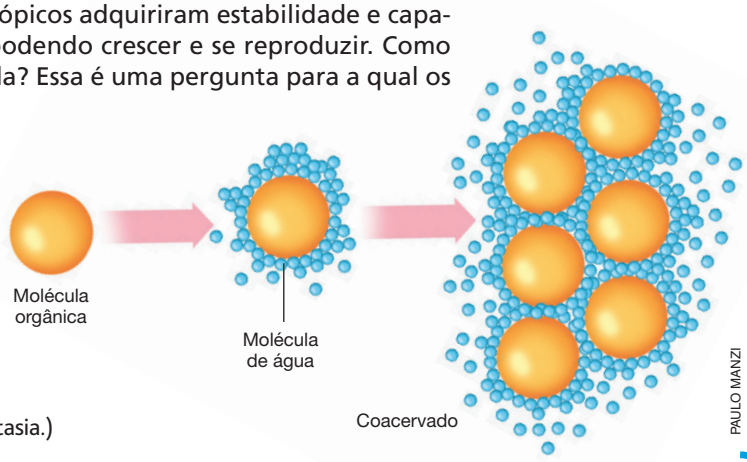
A origem das primeiras células vivas

Nos seres vivos atuais, os processos químicos que caracterizam a vida ocorrem no interior de células, compartimentos isolados do ambiente externo por uma finíssima película envolvente, a membrana plasmática. Esse envoltório permite a manutenção de um ambiente celular interno diferenciado e adequado aos processos e às reações químicas essenciais à vida. A ruptura da membrana leva à desorganização da estrutura celular e à morte da célula.

A importância da membrana para a célula viva levou os cientistas a imaginar que uma etapa fundamental na origem da vida foi o aparecimento de sistemas químicos delimitados por membranas que os separavam do meio externo. Tais sistemas podem ter se formado em charcos, lagos e oceanos primitivos, seja a partir de aglomerados de moléculas orgânicas originadas na própria Terra, como acreditam os defensores da hipótese da evolução molecular, seja a partir de moléculas vindas do espaço em corpos celestes que atingiram a Terra, como pensam os defensores da panspermia.

Experimentos de laboratório dão pistas sobre o que pode ter ocorrido com as moléculas precursoras da vida acumuladas na Terra primitiva. Quando se adicionam experimentalmente proteínas em soluções aquosas com certo grau de acidez e salinidade, podem-se obter aglomerados proteicos microscópicos, em alguns casos relativamente estáveis, graças à formação de uma película de moléculas de água ao redor das proteínas. Também se observou que, em certas condições especiais, as próprias proteínas podem se organizar formando películas ao redor de aglomerados de moléculas orgânicas. Esses fatos levaram os cientistas a pensar que, nas condições da Terra primitiva, moléculas orgânicas podem ter se isolado e se organizado, formando glóbulos microscópicos estáveis precursores da vida.

O salto definitivo rumo aos seres vivos teria ocorrido há pelo menos 3,5 bilhões de anos, no momento em que esses glóbulos microscópicos adquiriram estabilidade e capacidade de produzir seus próprios componentes, podendo crescer e se reproduzir. Como teria se dado esse passo crucial na evolução da vida? Essa é uma pergunta para a qual os pesquisadores ainda não têm resposta. (Fig. 2.9)



PAULO MANZI

Figura 2.9 Representação esquemática da formação dos coacervados, como são chamados os aglomerados microscópicos de moléculas orgânicas mantidas juntas pela formação de películas de água ao redor. (Elaborada com base em Campbell e cols., 1999.) O processo de coacervação ganhou destaque ao ser proposto como um passo importante no surgimento da vida pelos pesquisadores Alexander Oparin (1894-1980) e J. B. S. Haldane (1892-1964), no final da década de 1920. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

As hipóteses heterotrófica e autotrófica

Embora não se saiba exatamente os caminhos pelos quais moléculas orgânicas originaram seres vivos, supõe-se que as primeiras formas de vida eram microscópicas e delimitadas por uma membrana. No interior desses corpúsculos precursores da vida, reações químicas ordenadas e controladas forneciam energia para transformar moléculas nutritivas em componentes do corpúsculo, possibilitando o crescimento e a reprodução.

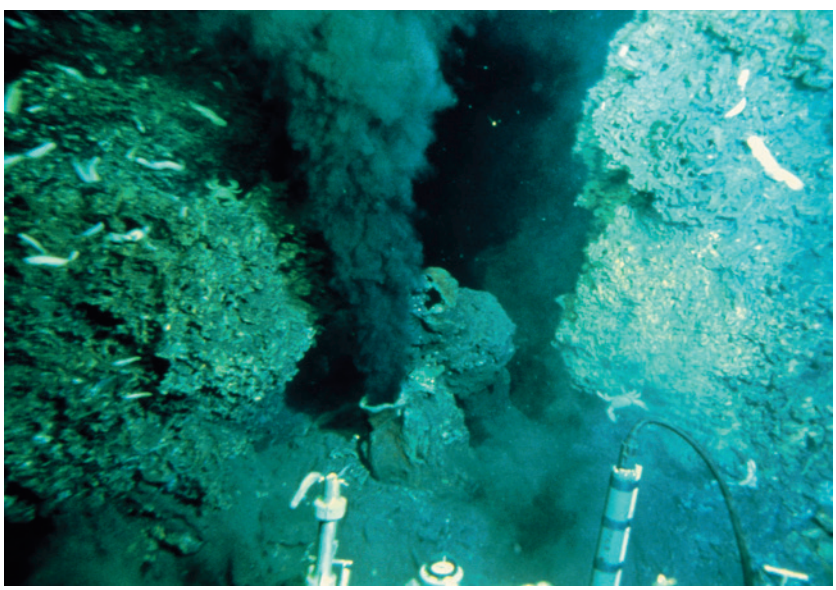
De que se alimentavam os primeiros seres vivos? Para tentar responder a essa pergunta, vamos analisar a alimentação dos seres atuais. Nos dias de hoje, os seres vivos têm duas estratégias alimentares básicas: ou eles mesmos produzem seu alimento ou o obtêm do meio onde vivem. No primeiro caso, fala-se em **seres autotróficos** (do grego *autós*, próprio, e *trophos*, alimento), capazes de produzir substâncias orgânicas a partir de gás carbônico (CO_2) e de energia do ambiente. São autotróficos alguns tipos de bactérias, todas as algas e todas as plantas atuais, com exceção de algumas plantas parasitas.

No segundo caso, fala-se em **seres heterotróficos** (do grego *heteros*, diferente); por serem incapazes de produzir o próprio alimento, esses seres têm de obtê-lo do meio externo na forma de moléculas orgânicas. São heterotróficos os fungos, diversas bactérias, a quase totalidade dos protozoários e todos os animais.

Durante muito tempo predominou a ideia de que os primeiros seres vivos seriam heterotróficos. Os defensores dessa ideia, conhecida como **hipótese heterotrófica**, acreditavam que as mesmas substâncias que originaram os primeiros seres vivos também podiam ter-lhes servido de alimento. A obtenção de energia a partir de substâncias nutritivas ocorreria por um processo semelhante à fermentação realizada por certos fungos e bactérias que conhecemos hoje.

Atualmente, a hipótese mais aceita sobre como se nutriam os primeiros seres vivos é a **hipótese autotrófica**. Seus defensores argumentam que na Terra primitiva não havia moléculas orgânicas em quantidade suficiente para sustentar a multiplicação dos primeiros seres vivos. De acordo com os conhecimentos atuais, os primeiros habitantes da Terra poderiam ter sido **quimiolitoautotróficos** (do grego *litós*, rocha), ou seja, capazes de produzir suas próprias substâncias alimentares a partir da energia liberada em reações entre componentes inorgânicos.

A hipótese autotrófica vem se consolidando graças à descoberta de microrganismos capazes de viver em ambientes inóspitos, como fontes de água quente e vulcões submarinos. Certos microrganismos quimiolitoautotróficos atuais podem viver ao redor de fendas vulcânicas submersas, onde há liberação de sulfeto de hidrogênio (H_2S). A existência de organismos em condições tão extremas como essas reforça a ideia de que a vida pode ter surgido nesses ambientes, supostamente abundantes na Terra primitiva. (Fig. 2.10)



DR. KEN MACDONALD/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 2.10 Fonte termal submarina. A descoberta, em meados da década de 1970, de comunidades biológicas vivendo em total escuridão nas profundezas oceânicas, a mais de 2.500 m de profundidade, e alimentadas por bactérias quimiolitoautotróficas dá força à hipótese de que seres como esses, que obtinham energia de reações químicas inorgânicas como as que ocorrem em fontes termais, podem ter sido as primeiras formas de vida na Terra.

De acordo com a hipótese autotrófica, a partir dos primeiros seres quimiolitoautotróficos teriam surgido os outros tipos de seres vivos: inicialmente os que realizam fermentação, depois os fotossintetizantes e, por fim, os que respiram gás oxigênio (aeróbicos).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 6.

a) célula
b) hipótese autotrófica
c) hipótese da panspermia
d) hipótese heterotrófica
e) quimiolitoautotrófico
f) teoria da evolução molecular

1. A denominação ([redacted]) aplica-se a organismos capazes de obter energia a partir de reações químicas entre componentes minerais. 1. e

2. ([redacted]) é considerada a unidade dos seres vivos, onde ocorrem as reações químicas essenciais à vida. 2. a

3. A frase "A Terra foi colonizada por vida proveniente do espaço" resume o(a) ([redacted]). 3. c

4. A descoberta de bactérias, capazes de obter energia a partir de componentes inorgânicos da crosta terrestre reforça o(a) ([redacted]). 4. b

5. A ideia de que substâncias originalmente presentes na Terra primitiva formaram substâncias precursoras da vida e os primeiros seres vivos resume o(a) ([redacted]). 5. f

6. Os primeiros seres vivos obtinham alimento a partir de substâncias orgânicas presentes no meio em que tinham surgido. Essa frase resume o(a) ([redacted]). 6. d

7. A teoria do *big bang*, também chamada de teoria da grande explosão, explica como 7. d

a) surgiu a vida na Terra.
b) se formam as estrelas.
c) surgiu o planeta Terra.
d) surgiu o universo.

8. Os cientistas acreditam que a vida na Terra surgiu aproximadamente há 8. d

a) 10 mil anos.
b) 5 milhões de anos.
c) 65 milhões de anos.
d) 3,5 bilhões de anos.

9. A importância do trabalho de Miller foi ter demonstrado, pela primeira vez, que 9. c

a) os primeiros seres vivos vieram do espaço.
b) a vida surgiu nos mares primitivos.
c) moléculas orgânicas poderiam ter se formado a partir de gases da atmosfera primitiva.
d) os primeiros seres vivos eram heterotróficos.

10. A descoberta de microrganismos quimiossintetizantes capazes de viver em locais inóspitos, obtendo energia das rochas, constitui uma evidência a favor da 10. a

a) hipótese autotrófica.
b) hipótese da panspermia.
c) hipótese heterotrófica.
d) teoria da evolução molecular.
e) teoria do *big bang*.

Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

11. Alimentos preparados adequadamente e guardados em frascos hermeticamente fechados conservam-se inalterados por muito tempo. Um exemplo é o leite longa vida, que se conserva fora da geladeira por vários meses. Na embalagem de algumas marcas de leite podem ser lidos os seguintes avisos: "Após a abertura da embalagem, deve ser conservado sob refrigeração"; "Tratado pelo processo UHT (*ultra high temperature*) à temperatura de 150 °C por 2-4 segundos, tornando-se estéril". Responda:

a) O que significa dizer que o processo UHT torna o leite estéril?
b) Qual é a razão da recomendação do fabricante para conservar o leite longa vida sob refrigeração depois de abrir a embalagem?
c) Neste capítulo, foram explicados os princípios da técnica de pasteurização, que também é utilizada para conservar o leite. Em que a pasteurização difere do processo UHT?

12. Desenhe uma "linha do tempo" na qual serão representados, em escala, alguns eventos ocorridos desde o *big bang* até os dias de hoje. Sugerimos que utilize uma folha grande de papel quadriculado ou milimetrado, ou uma folha de cartolina na qual serão medidas as divisões do tempo com uma régua. Desenhe uma linha horizontal e marque, na extremidade à esquerda, "15 bilhões de anos atrás". Na extremidade à direita da linha, marque "zero", que corresponde ao tempo atual. Divida a linha em 15 partes, cada uma delas correspondendo a 1 bilhão de anos. Pesquise, no capítulo, a época aproximada em que ocorreram os seguintes eventos:

a) *big bang* (grande explosão);
b) origem do elemento hidrogênio;
c) origem das primeiras estrelas;
d) origem do Sistema Solar;
e) origem da Terra;
f) surgimento dos primeiros oceanos;
g) surgimento dos primeiros seres vivos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Marque cada um desses acontecimentos na sua linha do tempo. Lembre-se de que é importante distribuir os eventos em escala, o que nos ajuda a concretizar as diferenças temporais entre eles. Utilize sua criatividade para ilustrar a linha do tempo com imagens representativas, no estilo dos infográficos usados em jornais e revistas.

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

13. Divulgação científica: Criando uma resenha de uma notícia de jornal

Nesta atividade, seu desafio é fazer uma resenha de um artigo de divulgação científica publicado em um jornal. Selecionamos uma reportagem que se relaciona com o conteúdo do capítulo. Futuramente, você e seus colegas poderão fazer o mesmo com outras reportagens e divulgar suas resenhas no mural da escola, na internet ou em um jornal científico da classe. Veja nossas sugestões para a atividade:

1. Leia atentamente cada parágrafo, resumindo cada um com frases curtas e diretas; elas serão a base de sua resenha. Se achar que algum trecho pode ser reproduzido tal como aparece, coloque-o entre aspas, como citação.
2. O texto apresenta alguns conceitos estudados na disciplina de Química ao explorar, por exemplo, o motivo de a água não congelar, mesmo estando a −13 °C, e a mudança de cor na água quando exposta ao ar. Na sua resenha, explore um pouco mais esses aspectos, para garantir que o leitor os compreenda.
3. Organize seu texto e acrescente figuras, se julgar necessário. Lembre-se de que a diagramação, isto é, a organização visual, é importante para captar o interesse dos leitores.

Estudo acha vida em salmoura isolada por 20 m de gelo na Antártida

Poucos ambientes parecem menos promissores para a vida do que uma salmoura resfriada a −13 graus Celsius, mas um ambiente desse tipo é lar de uma diversificada comunidade de bactérias no interior da Antártida.

Mais intrigante ainda, esse ecossistema improvável parece estar isolado de fontes externas de energia e nutrientes há pelo menos 3.000 anos, afirmam os cientistas americanos que o exploraram pela primeira vez em artigo na revista científica *PNAS*.

Alison Murray e seus colegas do Centro de Pesquisas do Deserto em Reno (sudoeste dos EUA) acharam as bactérias depois de cuidadosas perfurações no manto de pelo menos 20 m que recobre o lago Vida.

Não se sabe exatamente a profundidade do lago. Também não está claro se, abaixo da grossa camada de gelo, existiria algo parecido com uma lagoa líquida.

O que dá para dizer é que, abaixo de certa profundidade, a placa sólida de gelo começa a dar lugar a uma rede de canais por onde corre a salmoura onde vivem as bactérias do lago.

O líquido não congela totalmente, mesmo com a temperatura bem abaixo de zero, por causa da elevada quantidade de cloreto de sódio (o popular sal de cozinha) dissolvida nele. Por causa disso, essa água é seis vezes mais salgada que a do mar.

Levemente amarelo, o líquido contém tanto ferro que fica laranja-escuro quando exposto à atmosfera (dentro do lago, praticamente não existe oxigênio). Também há elevadas quantidades de enxofre e nitrogênio ali.

Mesmo assim, análises de DNA e observações de amostras da salmoura feitas com microscópios revelaram a presença de exemplares de pelo menos oito filos bacterianos (um filo é um agrupamento que reúne grande diversidade de espécies; o dos cordados, por exemplo, abrange todos os vertebrados, do homem aos peixes).

Tudo indica que várias dessas espécies nunca foram detectadas antes. Há sinais de que elas estão sobrevivendo em "marcha lenta" desde que ficaram isoladas ali – sem uma explosão populacional, mas mantendo seu metabolismo numa taxa baixa e relativamente constante.

O mistério é como elas estariam fazendo isso. Uma possibilidade é que estejam se aproveitando, por exemplo, do hidrogênio produzido pelas rochas da região, em contato com o lago, para produzir alguma energia.

Vai ser preciso mais trabalho para entender o que está ocorrendo no lago Vida, mas a descoberta já dá fôlego a uma busca bem mais ampla: a caçada por micróbios durões fora do nosso planeta.

É que as condições do lago antártico não são tão diferentes assim das que existem em oceanos congelados de locais como Europa, uma das luas de Júpiter.

Folha de S.Paulo, Ciência, 27 nov. 2012. Disponível em: <http://www1.folha.uol.com.br/ciencia/2012/11/1191657-estudo-acha-vida-em-salmoura-isolada-por-20-m-de-gelo-na-antartida.shtml>. Acesso em: mar. 2016.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (Unifal-MG) Do início da vida na Terra até o aparecimento dos seres vivos atuais, aconteceram vários eventos, como, por exemplo:

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

I. formação das primeiras células;
II. formação de moléculas orgânicas complexas;
III. aparecimento de organismos capazes de produzir alimentos pela fotossíntese;
IV. surgimento dos primeiros organismos aeróbicos.

Determine a alternativa que indica a ordem mais aceita atualmente para o acontecimento desses eventos. 1. d

a) I; II; IV; III.
b) II; III; IV; I.
c) I; IV; III; II.
d) II; I; III; IV.

2. (UFMG) Recentes pesquisas espaciais constataram a existência, na Via Láctea, de sistemas solares com planetas cuja atmosfera é semelhante à atmosfera primitiva da Terra. Essa atmosfera primitiva caracteriza-se pela ausência de 2. d

a) amônia.
b) gás carbônico.
c) metano.
d) oxigênio.
e) vapor-d'água.

3. (UFRGS-RS) A primeira coluna apresenta o nome de teorias sobre a evolução da vida na Terra; a segunda, afirmações relacionadas a três dessas teorias.

1 – Abiogênese
2 – Biogênese
3 – Panspermia
4 – Evolução química
5 – Hipótese autotrófica

( ) Os primeiros seres vivos utilizaram compostos inorgânicos da crosta terrestre para produzir suas substâncias alimentares.
( ) A vida na Terra surgiu a partir de matéria proveniente do espaço cósmico.
( ) Um ser vivo só se origina de outro ser vivo.

A sequência correta de preenchimento dos parênteses, de cima para baixo, é 3. e

a) 4 – 2 – 1.
b) 4 – 3 – 2.
c) 1 – 2 – 4.
d) 5 – 1 – 3.
e) 5 – 3 – 2.

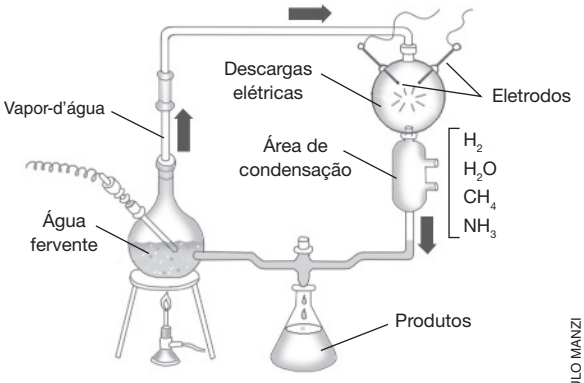
4. (UEL-PR) Charles Darwin, além de postular que os organismos vivos evoluíam pela ação da seleção natural, também considerou a possibilidade de as primeiras formas de vida terem surgido em algum lago tépido do nosso planeta. Entretanto, existem outras teorias que tentam explicar como e onde a vida surgiu. Uma delas, a panspermia, sustenta que 4. e

a) as primeiras formas de vida podem ter surgido nas regiões mais inóspitas da Terra, como as fontes hidrotermais do fundo dos oceanos.
b) compostos orgânicos simples, como os aminoácidos, podem ter sido produzidos de maneira abiótica em vários pontos do planeta Terra.
c) bactérias ancestrais podem ter surgido por toda a Terra, em função dos requisitos mínimos necessários para a sua formação e subsistência.
d) a capacidade de replicação das primeiras moléculas orgânicas foi o que permitiu que elas se difundissem pelos oceanos primitivos da Terra.
e) a vida se originou fora do planeta Terra, tendo sido trazida por meteoritos, cometas ou então pela poeira espacial.

Questões discursivas

5. (Uerj) A procura de formas de vida em nosso Sistema Solar tem dirigido o interesse de cientistas para Io, um dos satélites de Júpiter, que é coberto por grandes oceanos congelados. As condições na superfície são extremamente agressivas, mas supõe-se que, em grandes profundidades, a água esteja em estado líquido e a atividade vulcânica submarina seja frequente. Considerando que tais condições são similares às do bioma abissal da Terra, aponte o tipo de bactéria que poderia ter se desenvolvido em Io e indique como esse tipo de bactéria obtém energia para a síntese de matéria orgânica.

6. (Unicamp-SP) Em 1953, Miller e Urey realizaram experimentos simulando as condições da Terra primitiva: supostamente altas temperaturas e atmosfera composta pelos gases metano, amônia, hidrogênio e vapor-d'água, sujeita a descargas elétricas intensas. A figura a seguir representa o aparato utilizado por Miller e Urey em seus experimentos.



(Esquema simplificado.)

PAULO MANZI

a) Qual a hipótese testada por Miller e Urey nesse experimento?
b) Cite um produto obtido que confirmou a hipótese.
c) Como se explica que o O_2 tenha surgido posteriormente na atmosfera?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 3 Bases moleculares da vida

MARUO FERMARIELLO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Moléculas de DNA de diferentes amostras podem ser comparadas por meio da técnica de eletroforese. Nesse processo, os DNAs são cortados com "tesouras" moleculares (enzimas de restrição), resultando em um padrão de fragmentos para cada tipo de DNA analisado. Fragmentos de diferentes tamanhos são então separados em uma folha de gelatina especial ao serem forçados a migrar sob efeito de um campo elétrico, formando faixas na gelatina. Na foto podem ser observadas diferentes colunas, cada uma correspondendo a uma amostra de DNA com seu padrão de faixas característico. O pesquisador aponta para uma dessas faixas.

A Química e a vida

O desenvolvimento da Química Orgânica nos séculos XIX e XX foi fundamental para o progresso da Biologia. Sem a base proporcionada pela Química seria impossível penetrar no mundo submicroscópico e descobrir como funcionam as células e os organismos vivos no nível molecular.

Até as primeiras décadas do século XIX, o estudo experimental das substâncias orgânicas, hoje definidas como aquelas que apresentam carbono (C) e hidrogênio (H) em sua composição, não progrediu muito principalmente porque se acreditava que substâncias orgânicas somente poderiam ser fabricadas no interior de organismos vivos. A teoria da força vital ou vitalismo defendia que, para a fabricação de substâncias orgânicas, era necessária uma "essência" imaterial, a força vital, presente apenas em seres vivos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As ideias vitalistas começaram a perder força a partir de 1828, quando o químico alemão Friedrich Wöhler (1800-1882) conseguiu fabricar ureia, uma substância orgânica, a partir de cianato de amônia, uma substância tipicamente inorgânica. A experiência de Wöhler mostrou que as substâncias presentes nos seres vivos podiam ser fabricadas em laboratório por métodos semelhantes aos já utilizados pelos químicos experimentais na produção de substâncias inorgânicas.

Desde então, a aplicação de princípios e métodos da Química ao estudo das substâncias orgânicas tem sido proveitosa tanto para químicos como para biólogos. Para os químicos, abriu-se um novo e vasto campo de estudo, a Química Orgânica; para os biólogos, desenvolveu-se um novo ramo das Ciências Naturais, a Bioquímica, que estuda a química da vida.

Com base nos conhecimentos e nas técnicas de análise da Química tornou-se possível "dissecar" em laboratório qualquer substância orgânica, identificando seus átomos componentes e a maneira como eles se organizam nas moléculas. Também se tornou possível produzir em laboratório praticamente qualquer substância orgânica conhecida (proteínas, açúcares, gorduras, ácidos nucleicos etc.), sem falar na possibilidade de criar substâncias antes inexistentes na natureza. Atualmente são produzidas diversas substâncias orgânicas "sintéticas", isto é, fabricadas em laboratório, que servem de matéria-prima para a indústria de plásticos, fibras, borrachas, solventes e inúmeros outros compostos. Laboratórios farmacêuticos produzem vitaminas, nutrientes e vários tipos de medicamentos, que curam e previnem doenças. Isso nos dá uma ideia de como a Química é importante.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

O desenvolvimento da Bioquímica revelou que a mais simples das células vivas é formada por uma grande variedade de substâncias orgânicas e que centenas de transformações moleculares ocorrem ininterruptamente no interior celular. Uma única célula bacteriana, por exemplo, fabrica mais de 3 mil tipos de proteína no curso de sua curta existência, que pode ser de apenas 20 minutos.

Se considerarmos a variedade de elementos e de substâncias reunidos no espaço microscópico de uma célula, concluiremos que os seres vivos são os entes mais complexos do universo conhecido. E é exatamente essa complexidade que caracteriza a vida. Conhecer as principais substâncias que constituem os seres vivos e seus processos bioquímicos essenciais é, portanto, fundamental para se compreender o fenômeno vida.

3.1 Componentes da matéria viva

Um passo importante para o progresso tanto da Química quanto da Biologia foi o desenvolvimento da teoria atômica, segundo a qual a matéria é constituída por partículas invisíveis a olho nu denominadas **átomos**. De acordo com a teoria atômica, todas as substâncias existentes na natureza, inclusive as que formam os seres vivos, são resultantes de combinações peculiares entre os átomos dos 89 elementos químicos existentes na natureza. Por exemplo, sempre que dois átomos do elemento hidrogênio (H) se combinam com um átomo do elemento oxigênio (O), forma-se uma molécula de água (H_2O). A combinação de dois átomos de hidrogênio com um átomo de enxofre (S) forma um gás malcheiroso denominado gás sulfídrico (H_2S).

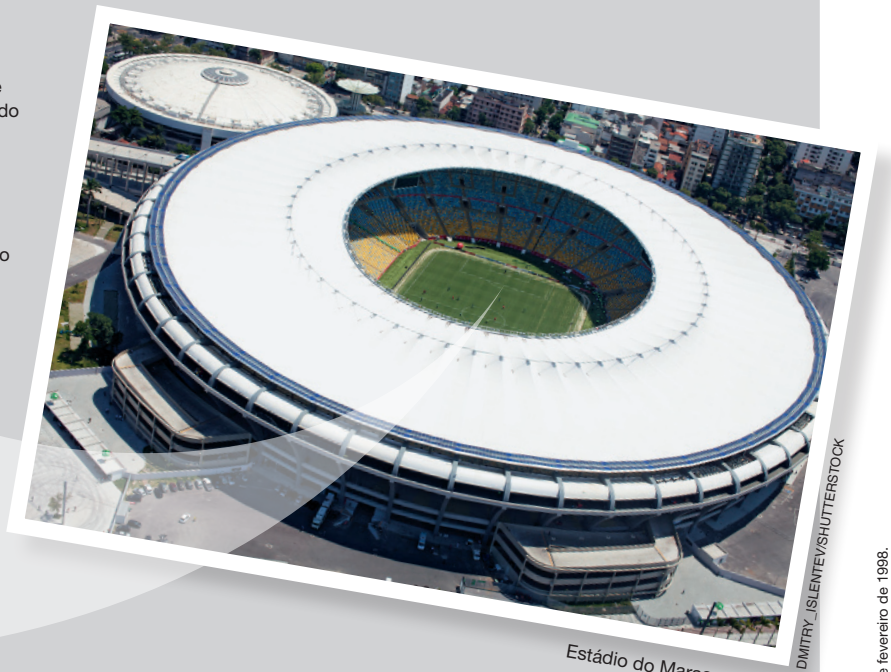
Na matéria que constitui os seres vivos predominam átomos de certos elementos químicos, como **carbono** (**C**), **hidrogênio** (**H**), **oxigênio** (**O**), **nitrogênio** (**N**), **fósforo** (**P**) e **enxofre** (**S**). Outros elementos químicos também constituem a matéria dos organismos vivos, mas em proporções bem menores. Esses seis elementos predominantes na matéria viva constituem cerca de 98% da massa corporal da maioria das espécies biológicas. O carbono é o elemento químico presente em todas as moléculas orgânicas. A versatilidade dos átomos de carbono, que podem ligar-se entre si e com átomos de diversos outros elementos, torna possível a grande variedade de moléculas orgânicas. Acompanhe no infográfico "Átomos e ligações químicas" a seguir algumas informações sobre a estrutura atômica da matéria. (Fig. 3.1)

Um dos pontos "nevrálgicos" da Biologia no ensino médio é relativo à composição química dos seres vivos. De fato, é necessário que o estudante tenha certas noções básicas de Química para compreender temas biológicos. Nossa sugestão é que, durante o planejamento, os professores de Biologia apresentem aos seus colegas de Química os conceitos que serão trabalhados e os objetivos que esperam atingir.

Átomos e ligações químicas

Um átomo é tão pequeno que, se 10 milhões deles fossem colocados lado a lado, mediriam apenas 1 milímetro de comprimento. Apesar de suas dimensões reduzidas, o átomo é constituído principalmente por espaço vazio. O diâmetro do núcleo atômico é cerca de 10 mil vezes menor que o diâmetro do átomo, definido pela última camada de elétrons que se movimentam ao redor do núcleo. Por comparação, se um átomo fosse ampliado até o tamanho do estádio do Maracanã, seu núcleo teria o tamanho da cabeça de um alfinete.

GRAMADO: TURGAY KOCA/SHUTTERSTOCK
ALFINETE: BLACKSNAKE/SHUTTERSTOCK

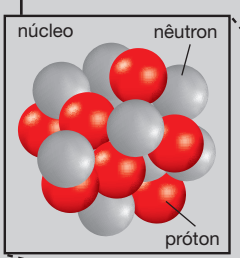


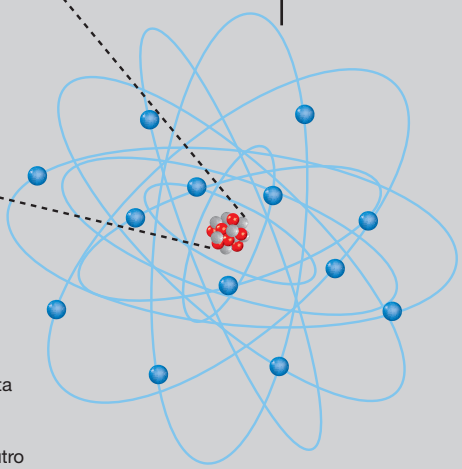
Estádio do Maracanã (RJ).

DMITRY_ISLENTEV/SHUTTERSTOCK

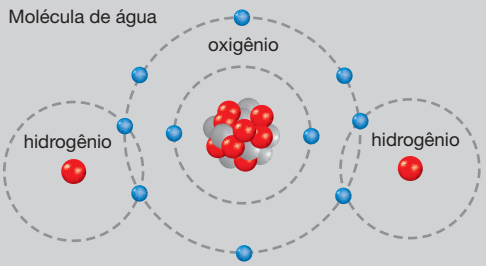
- Todo átomo apresenta um núcleo ao redor do qual há elétrons em movimento, que constituem sua eletrosfera. O núcleo atômico é formado por dois tipos de partículas: **prótons**, que apresentam carga elétrica positiva, e **nêutrons**, que não apresentam carga elétrica. Cada tipo de elemento químico caracteriza-se pelo número de prótons presentes em seu núcleo atômico: é o chamado **número atômico**.

- Pelo modelo de Rutherford-Bohr, os elétrons se movem em níveis (camadas eletrônicas). O número de camadas eletrônicas presentes na eletrosfera depende da quantidade de elétrons do átomo e cada nível eletrônico pode conter um número máximo de elétrons.





Elétrons são partículas de massa muito menor que a massa dos prótons e nêutrons (cujas massas são aproximadamente iguais) e apresentam carga elétrica negativa. Um átomo apresenta sempre o mesmo número de prótons e de elétrons, o que significa que um átomo é neutro em termos de carga elétrica total, já que as cargas de prótons e elétrons se equivalem.



ILUSTRAÇÕES: CANÇADO

Átomos podem se unir por meio de **ligações químicas**, que envolvem a participação de elétrons presentes nas camadas eletrônicas mais externas da eletrosfera. Por exemplo, em sais como o cloreto de sódio, o sal de cozinha, um átomo de sódio (Na) fornece um elétron para o cloro (Cl). Com isso, o elemento doador fica com um elétron a menos e adquire carga elétrica positiva, transformando-se no íon positivo Na^+. O cloro, receptor de elétrons, por sua vez, adquire carga negativa, transformando-se no íon negativo Cl^-. Os íons Na^+ e Cl^- se atraem e formam uma **ligação iônica**. Em compostos como a água, formada pela união de dois átomos de hidrogênio (H) com um átomo de oxigênio (O), os átomos que se ligam não doam elétrons como na ligação iônica, mas os compartilham, formando um tipo de ligação química chamado de **ligação covalente**.

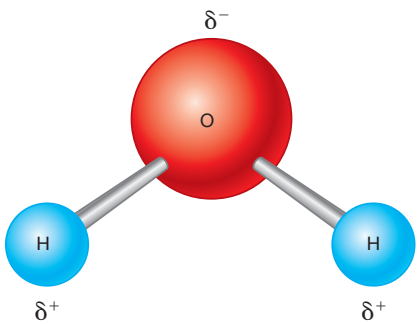
Figura 3.1 Infográfico que ilustra algumas relações existentes na estrutura atômica da matéria. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3.2 Água e sais minerais

A água é a substância mais abundante em um ser vivo, constituindo cerca de 75% a 85% de sua massa corporal. O restante distribui-se entre **proteínas** (10% a 15%), **lipídios** (2% a 3%), **glicídios** (1%) e **ácidos nucleicos** (1%), além de 1% de **sais minerais** e de outras substâncias. Por exemplo, se desidratássemos hipoteticamente uma pessoa de 60 kg, ela ficaria reduzida a apenas 12 kg, sendo aproximadamente 8,5 kg de proteínas, 1,8 kg de lipídios, 0,5 kg de açúcares, 0,5 kg de ácidos nucleicos e 0,5 kg de outras substâncias e minerais diversos.

A molécula de água, cuja fórmula química é H_2O, constitui-se de um átomo de oxigênio (O) unido, por ligações covalentes, a dois átomos de hidrogênio (H). Eles formam entre si um ângulo de 104,5° (cento e quatro graus e meio), o que torna a molécula de água polarizada e explica muitas de suas propriedades. (Fig. 3.2)



ADILSON SECCO

Figura 3.2 A molécula de água é polarizada: a região da molécula em que se localiza o átomo de oxigênio tem carga elétrica parcialmente negativa, representada por δ^-, e a região em que se localizam os átomos de hidrogênio tem carga elétrica parcialmente positiva, simbolizada por δ^+. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Vale lembrar que o trabalho com conceitos relativos à Química é apenas uma "ponte" para desenvolver temas biológicos e não um fim em si mesmo. Em outras palavras, não cabe ao professor de Biologia desenvolver e aprofundar conceitos de Química, e sim usá-los simplificadamente para atingir a compreensão de conceitos biológicos.

Importância da água para a vida

A água como solvente

Atividades essenciais à vida, como o transporte de determinadas substâncias e a maioria das reações químicas enzimáticas, necessitam que as moléculas reagentes estejam dissolvidas em um meio líquido. A água desempenha papel fundamental nos seres vivos por ser capaz de dissolver grande variedade de substâncias químicas, tais como sais, gases, açúcares, aminoácidos, proteínas e ácidos nucleicos; por isso, costuma-se atribuir à água o título de "solvente universal".

Substâncias cujas moléculas têm afinidade por água, dissolvendo-se nela, são chamadas de **hidrofílicas** (do grego *hydro*, água, e *philos*, amigo). A solubilidade dessas substâncias deve-se ao fato de haver, nas moléculas hidrofílicas, regiões eletricamente carregadas, por isso capazes de interagir com as moléculas polarizadas da água. Exemplos de substâncias orgânicas hidrofílicas são grande parte dos glicídios e muitas proteínas.

Ao contrário, substâncias que não se dissolvem em água são chamadas de **hidrofóbicas** (do grego *hydro*, água, e *phobos*, medo, aversão). A insolubilidade dessas substâncias decorre do fato de suas moléculas não apresentarem cargas elétricas, isto é, serem apolares; por isso, elas não conseguem interagir com as moléculas polarizadas da água e agregam-se, sem se dissolver. Exemplos de substâncias hidrofóbicas são os óleos e as gorduras.

A água nas reações químicas dos seres vivos

Nos seres vivos ocorrem ininterruptamente muitos tipos de reações químicas, por meio das quais as células obtêm energia e produzem substâncias necessárias à sua vida; a água está presente em muitos desses processos. Há determinadas reações químicas em que ocorre união (síntese) de certos tipos de moléculas, com formação de água como produto. Elas são denominadas **reações de condensação** ou sínteses por desidratação. Também há reações em que ocorre quebra (análise) de moléculas orgânicas com participação da água como reagente; elas são denominadas **reações de hidrólise** (do grego, *hydro*, água e *lise*, quebra), que significa "quebra pela água". (Fig. 3.3)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

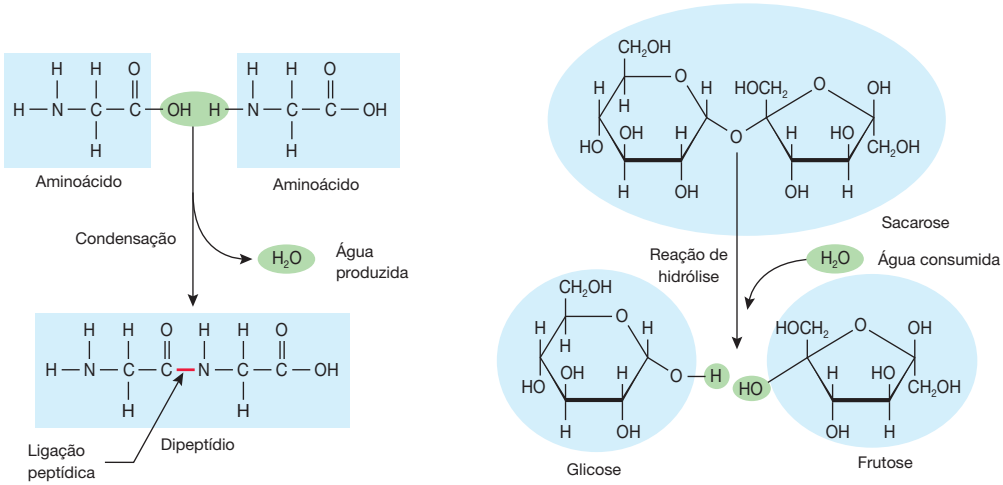


Figura 3.3 À esquerda, reação de condensação entre dois aminoácidos, em que ocorre uma síntese por desidratação. À direita, uma reação de hidrólise, em que a água participa como reagente na quebra molecular, no caso, a digestão do açúcar sacarose, que resulta em glicose e frutose.

A água como moderador de temperatura

A maioria dos seres vivos só consegue viver em uma certa faixa de temperatura, fora da qual ocorre a morte ou o metabolismo cessa. Nesse aspecto, a água é importante para ajudar a evitar variações bruscas na temperatura dos organismos, isso porque a água apresenta alto **calor específico**, sendo capaz de absorver ou ceder grandes quantidades de calor com pequena alteração de temperatura.

A água também apresenta elevado **calor latente de vaporização**, ou seja, necessita absorver grande quantidade de calor para passar do estado líquido ao gasoso. A evaporação da água é importante para os seres vivos, pois, graças a ela, os organismos que vivem em terra firme evitam o superaquecimento. As folhas das plantas, por exemplo, não se aquecem demais durante um dia de sol intenso porque a maior parte do calor que recebem é utilizado para evaporar a água nelas contida, no processo de transpiração foliar. A evaporação do suor de nossa pele ajuda a resfriar a superfície do corpo em um dia quente ou quando fazemos atividades físicas que geram calor em excesso.

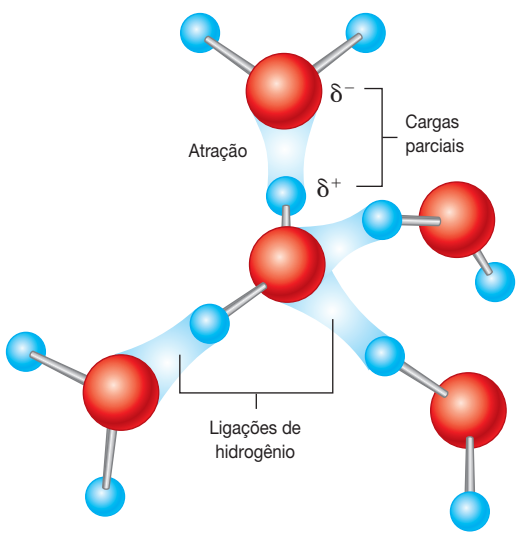


Figura 3.4 As regiões eletricamente positivas de uma molécula de água atraem a região eletricamente negativa de outras, formando ligações de hidrogênio. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Importância biológica da coesão e da adesão da água

Duas propriedades da água – a coesão e a adesão – são extremamente importantes para a vida. **Coesão** é o fenômeno em que as moléculas de água se mantêm unidas umas às outras por meio de ligações de hidrogênio. (Fig. 3.4)

Adesão é o fato de as moléculas de água, por serem polarizadas, aderirem a superfícies constituídas por substâncias polares. Essa propriedade faz com que a água "molhe", isto é, seja capaz de aderir a diversos materiais, como tecidos de algodão, papel etc. Além disso, a adesão possibilita à água subir pelas paredes internas de tubos muito finos, fenômeno denominado capilaridade. Nas plantas, as propriedades de adesão e coesão da água permitem o deslocamento da seiva mineral, desde as raízes, nas quais ela é absorvida do solo, até as folhas no topo das árvores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO

Sais minerais e sua importância biológica

Sais minerais são substâncias inorgânicas formadas por íons, muitos deles fundamentais para o bom funcionamento dos seres vivos. A falta de certos minerais pode afetar seriamente o metabolismo e até mesmo causar a morte. Nos animais vertebrados, por exemplo, os íons de cálcio (Ca^{2+}) participam das reações de coagulação do sangue e da contração muscular, além de serem componentes fundamentais dos ossos. Os íons de magnésio (Mg^{2+}), de manganês (Mn^{2+}) e de zinco (Zn^{2+}), entre outros, participam de reações químicas vitais às células. Os íons de sódio (Na^{+}) e de potássio (K^{+}) são responsáveis, entre outras funções, pela atuação das células nervosas. Íons inorgânicos, como os fosfatos (PO_4^{3-}) e os carbonatos (CO_3^{2-}), são importantes para o controle da acidez do ambiente interno das células. A acidez resulta da concentração relativa de íons hidrogênio (H^{+}) no meio, que os químicos denominam **potencial hidrogeniônico** ou **pH**. Quanto maior a concentração de H^{+} em um meio, maior a sua acidez e mais baixo o valor do pH ($pH = -\log [H^{+}]$). O pH neutro é igual a 7. Muitas reações químicas essenciais à vida somente ocorrem se as condições de acidez forem favoráveis, e sais como os fosfatos e os carbonatos são capazes de neutralizar o excesso de íons H^{+}.

3.3 Glicídios e lipídios

Características gerais dos glicídios

Glicídios, também chamados de **carboidratos** ou **hidratos de carbono**, são moléculas orgânicas constituídas fundamentalmente por átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio.

Os glicídios são a principal fonte de energia para os seres vivos e estão presentes em diversos tipos de alimento. Farinhas de trigo, de milho e de mandioca contêm o glicídio amido; o açúcar de cana, largamente utilizado no dia a dia, compõe-se basicamente do glicídio sacarose; o leite contém o açúcar lactose; frutos adocicados contêm frutose e glicose, entre outros tipos de glicídio.

Além de seu papel energético, os glicídios também desempenham papel relevante na estrutura corporal dos organismos. A celulose, por exemplo, forma a parede das células vegetais e dá sustentação ao corpo das plantas, sendo um glicídio com função estrutural. Outro exemplo de glicídio estruturalmente importante é a quitina, cuja molécula apresenta átomos de nitrogênio e constitui o mais importante componente do exoesqueleto dos artrópodes (insetos, aranhas, camarões etc.) e da parede celular da maioria dos fungos. (Fig. 3.5)

Os glicídios também fazem parte da estrutura dos ácidos nucleicos (DNA e RNA), que contêm instruções hereditárias e controlam indiretamente a maior parte das atividades celulares. O ATP (trifosfato de adenosina), a principal substância envolvida nos processos energéticos biológicos, também apresenta um glicídio – a ribose – em sua composição.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

DONNA BRUNET/KEYSTONE BRASIL

Figura 3.5 A cana-de-açúcar (*Saccharum* sp., na fotografia maior) produz grandes quantidades do glicídio sacarose, amplamente utilizado na alimentação humana. O exoesqueleto que a cigarra do gênero *Magicicada* está abandonando (fotografia menor), bem como o novo exoesqueleto formado, é constituído pelo polissacarídio nitrogenado denominado quitina, um tipo de glicídio. Essa cigarra mede cerca de 2,5 cm de comprimento.

GERSON SOBREIRA/TERRASTOCK

Classificação dos glicídios

Os glicídios podem ser classificados em três grupos, de acordo com o tamanho e a organização de sua molécula: monossacarídios, dissacarídios e polissacarídios.

Monossacarídios são os glicídios mais simples, que apresentam entre 3 e 7 átomos de carbono na molécula e fórmula geral $C_n(H_2O)_n$. Monossacarídios de três carbonos são denominados trioses, os de quatro carbonos são tetroses e assim por diante: pentoses, hexoses e heptoses. Além desses nomes genéricos, os monossacarídios têm nomes específicos, de acordo com suas características químicas. Com certeza você já ouviu falar em glicose, frutose e galactose: elas são hexoses, isto é, monossacarídios com 6 carbonos na molécula. A ribose presente no RNA é um monossacarídio do tipo pentose. (Fig. 3.6)

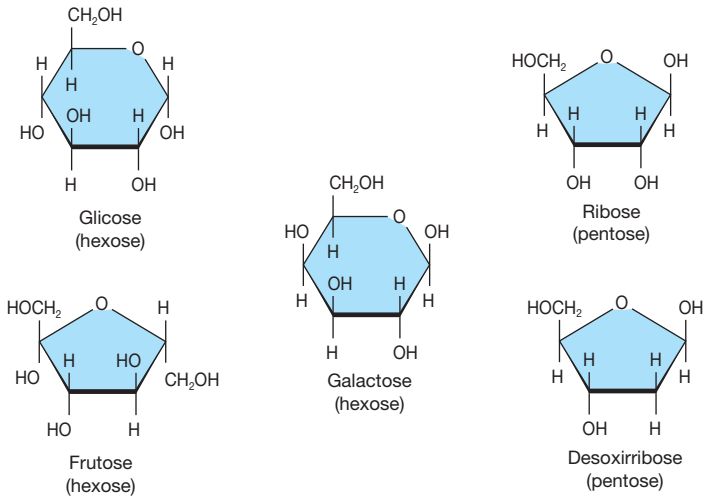


Figura 3.6 Fórmulas dos monossacarídios glicose, frutose, galactose, ribose e desoxirribose. Nesses compostos, os átomos de carbono unem-se formando anéis pentagonais ou hexagonais. As fórmulas estão simplificadas e omitem os átomos de carbono localizados nos vértices dos anéis. Note que, nos exemplos, a desoxirribose é o único dos cinco que não apresenta fórmula geral $C_n(H_2O)_n$.

Dissacarídios são glicídios constituídos por dois monossacarídios quimicamente unidos. A sacarose, o principal açúcar presente na cana-de-açúcar, é um dissacarídio formado pela união de glicose e frutose. Outro exemplo de dissacarídio é a lactose, o açúcar do leite, constituído pela união de glicose e galactose. (Fig. 3.7)

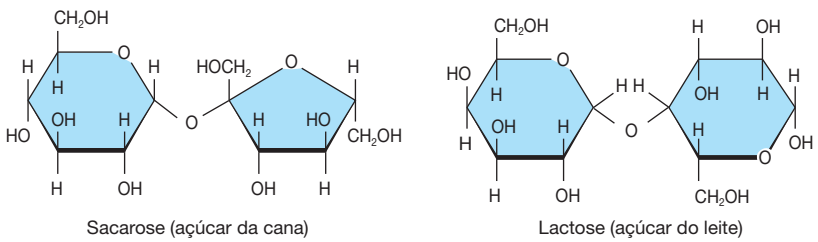


Figura 3.7 Fórmulas dos dissacarídios sacarose e lactose.

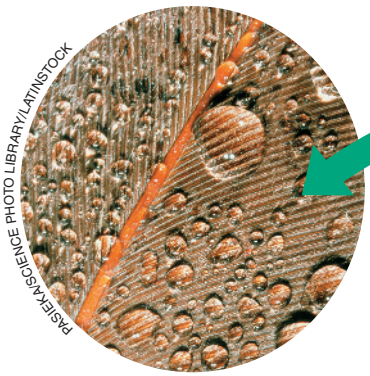
Polissacarídios são moléculas formadas pelo encadeamento de dezenas, centenas ou milhares de monossacarídios. Essas substâncias são o que os químicos denominam polímeros, nome genérico de moléculas constituídas pela união de muitas unidades idênticas ou semelhantes. As unidades de um polímero são denominadas monômeros, neste caso, monossacarídios. Exemplos de polissacarídios são o amido, o glicogênio e a celulose, polímeros constituídos por monômeros de glicose, e a quitina, polímero cujo monômero é a N-acetilglucosamina.

Características gerais dos lipídios

O termo **lipídio** designa certos tipos de substâncias orgânicas como óleos, ceras e gorduras, cuja principal característica é a insolubilidade em água e a solubilidade em certos solventes orgânicos. Você provavelmente já notou que óleos e gorduras são insolúveis em água; a razão dessa insolubilidade é que as moléculas dos lipídios são apolares e, assim, não têm afinidade pelas moléculas polares da água. (Fig. 3.8)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

FABIO COLOMBINI



PASIEKA/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

KACHALKIN OLEG/SHUTTERSTOCK

Figura 3.8 A. Gotas de gordura sobre a água. Óleos e gorduras não são solúveis em água, uma vez que suas moléculas, sendo apolares, não têm afinidade pelas moléculas polarizadas da água. **B.** As aves aquáticas lubrificam as penas com substâncias oleosas produzidas por uma glândula especial localizada na cauda (a glândula uropigiana). Isso faz as penas repelirem a água, impedindo que a pele da ave se molhe (como mostra a imagem no detalhe, com aumento aproximado de 10×). Na foto, pato do gênero *Anas*, que mede cerca de 60 cm de comprimento.

Classificação dos lipídios

Os principais tipos de lipídio são glicerídios, esteroides, fosfolipídios, carotenoides e ceras.

Glicerídios são constituídos por moléculas do álcool glicerol ligadas a uma, duas ou três moléculas de ácidos graxos; neste último caso, os glicerídios são conhecidos como triglicerídios ou triglicérides. Os glicerídios são os óleos e as gorduras, substâncias que diferem quanto ao ponto de fusão: os óleos são líquidos à temperatura ambiente, enquanto as gorduras são sólidas.

O **glicerol** ($C_3H_8O_3$) é um álcool cujas moléculas têm três átomos de carbono, e a cada um deles unem-se grupos hidroxila (—OH). **Ácidos graxos** são formados por longas cadeias de átomos de carbono com um grupo terminal denominado carboxila (—COOH). (Fig. 3.9)

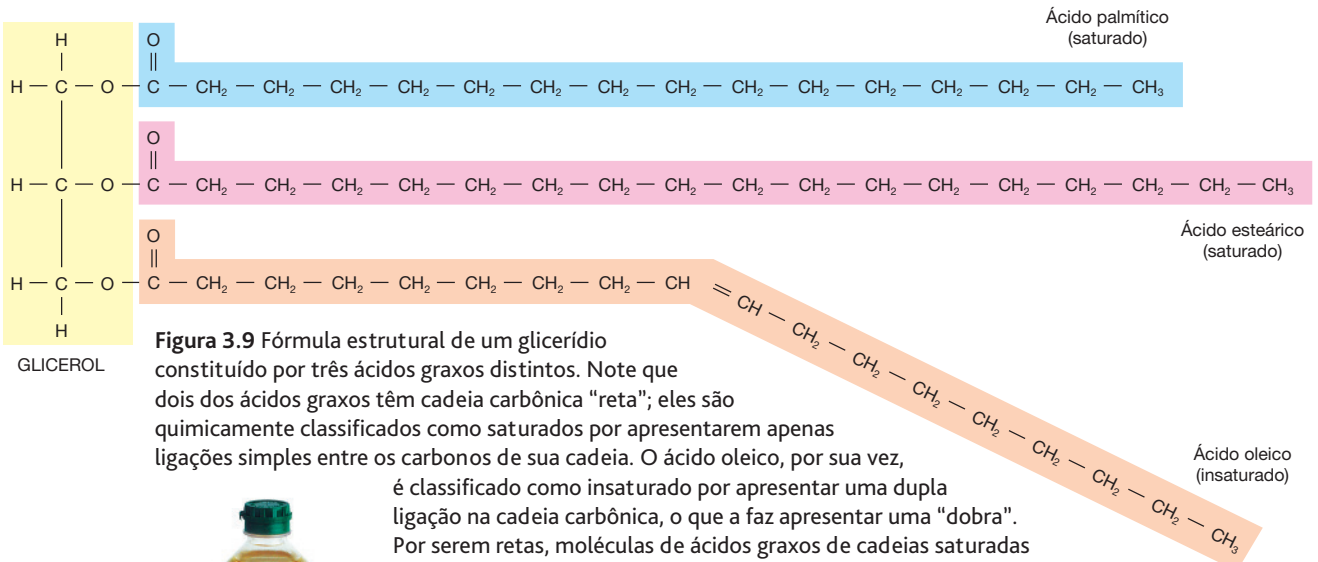


Figura 3.9 Fórmula estrutural de um glicerídio constituído por três ácidos graxos distintos. Note que dois dos ácidos graxos têm cadeia carbônica "reta"; eles são quimicamente classificados como saturados por apresentarem apenas ligações simples entre os carbonos de sua cadeia. O ácido oleico, por sua vez, é classificado como insaturado por apresentar uma dupla ligação na cadeia carbônica, o que a faz apresentar uma "dobra". Por serem retas, moléculas de ácidos graxos de cadeias saturadas podem aproximar-se mais umas das outras, formando um empacotamento mais denso; em consequência, o conjunto molecular é sólido, como ocorre, por exemplo, na margarina e na manteiga. Quando as cadeias carbônicas dos ácidos graxos são insaturadas, forma-se um empacotamento molecular mais frouxo, produzindo um conjunto líquido à temperatura ambiente, como ocorre no óleo vegetal. Em sua opinião, o lipídio mostrado na fórmula seria um óleo ou uma gordura? Por quê?

DORLING KINDERSLEY/UIG/KEYSTONE BRASIL

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

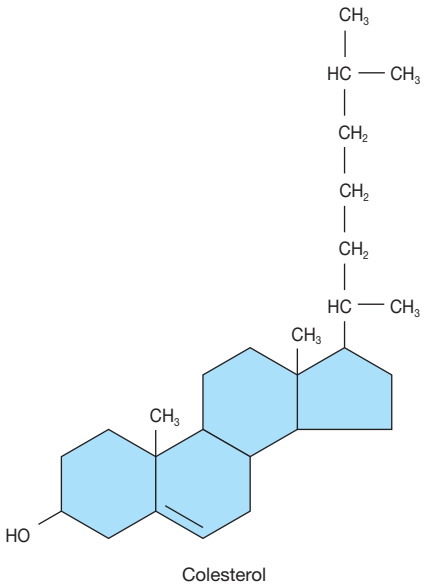


Figura 3.10 Fórmulas de dois esteroides, o colesterol e a progesterona. Os hexágonos e os pentágonos são representações simplificadas da fórmula: em cada vértice há um átomo de carbono ligado a átomos de hidrogênio, não mostrados. Note que esses dois esteroides têm o mesmo "esqueleto" básico, formado por quatro anéis moleculares interligados.

Os seres vivos utilizam glicerídios como substâncias de reserva de energia para momentos de necessidade. Por exemplo, certas plantas armazenam grande quantidade de óleo em suas sementes, cuja função é alimentar o embrião durante seu desenvolvimento. A soja, o girassol e o milho, entre outras plantas, têm sementes oleaginosas, utilizadas pela humanidade na fabricação de óleo de cozinha. Aves e mamíferos armazenam gordura em células especiais localizadas em uma camada sob a pele. Além de servir de reserva energética, a camada gordurosa subdérmica atua como isolante térmico, ajudando a manter constante a temperatura corporal.

A dieta humana saudável deve conter certa quantidade de gorduras e óleos, pois, entre outras funções, eles são necessários para o organismo absorver as chamadas vitaminas lipossolúveis (vitaminas A, D, E e K), que só se dissolvem em lipídios. Além disso, também necessitamos de certos ácidos graxos que não conseguimos produzir, os chamados lipídios essenciais. Esses lipídios, presentes em diversos óleos vegetais e em peixes marinhos (por exemplo, no conhecido óleo de fígado de bacalhau), são importantes para a construção das membranas celulares e para a síntese das prostaglandinas, substâncias que regulam diversos processos orgânicos, como contração da musculatura lisa, agregação de plaquetas do sangue, processos inflamatórios etc.

Esteroides diferem marcadamente dos glicerídios e das ceras (que serão estudadas a seguir), constituindo uma categoria especial de lipídios. As moléculas de esteroides são compostas por átomos de carbono interligados, formando quatro anéis carbônicos aos quais estão ligadas cadeias carbônicas, grupos hidroxila ou átomos de oxigênio. (Fig. 3.10)

O colesterol é um dos esteroides mais conhecidos principalmente por estar associado ao infarto do coração e a doenças do sistema cardiovascular. Sabe-se que a ingestão exagerada de colesterol, presente nas gorduras animais, pode trazer diversos distúrbios à saúde. Entretanto, o colesterol é necessário ao organismo humano porque é um importante componente das membranas das células animais, sendo também precursor de hormônios esteroides, como a progesterona e a testosterona. Curiosamente, as membranas das células de plantas e de células bacterianas não apresentam colesterol. Nos seres humanos, o colesterol é produzido principalmente no fígado ou obtido em alimentos de origem animal.

Fosfolipídios são os principais componentes das biomembranas. Do ponto de vista químico, um fosfolipídio é um glicerídio combinado a um grupo fosfato. A molécula de fosfolipídio lembra um palito de fósforo, com uma "cabeça" eletricamente carregada e uma haste sem carga elétrica, constituída por duas "caudas" de ácido graxo. (Fig. 3.11)

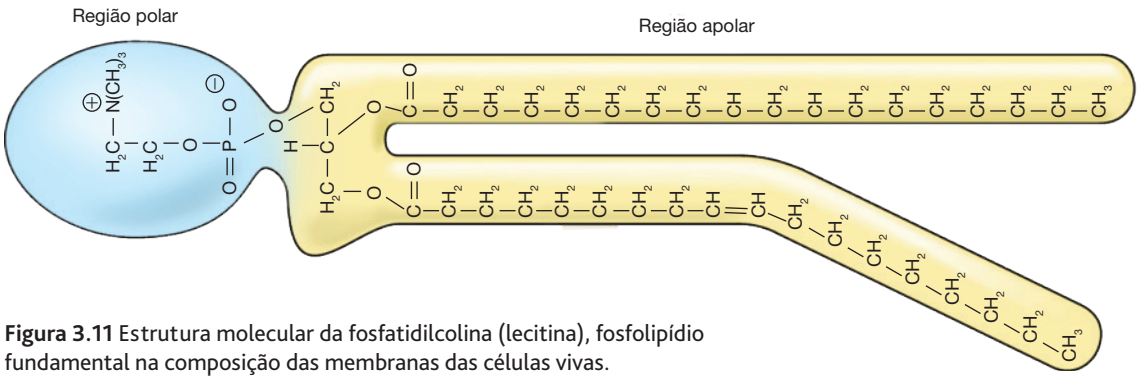


Figura 3.11 Estrutura molecular da fosfatidilcolina (lecitina), fosfolipídio fundamental na composição das membranas das células vivas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ADILSON SECCO

Carotenoides são pigmentos de cor vermelha, laranja ou amarela, insolúveis em água e solúveis em óleos e solventes orgânicos. Estão presentes nas células de todas as plantas, nas quais desempenham papel no processo de fotossíntese. Os carotenoides são importantes também para os animais. Por exemplo, a molécula de caroteno, um carotenoide alaranjado presente na cenoura e em outros vegetais, é matéria-prima para a produção da vitamina A, que auxilia na nossa visão, uma vez que é precursora do retinal, uma substância sensível à luz presente na retina dos olhos dos vertebrados.

Ceras são substâncias formadas por uma molécula de álcool diferente do glicerol unida a uma ou mais moléculas de ácidos graxos. Há ceras constituídas por moléculas de álcool com até 16 átomos de carbono na cadeia. Por serem altamente insolúveis em água, as ceras são úteis para diversos animais e plantas. As folhas de muitas espécies vegetais têm a superfície recoberta de cera, o que as torna bastante impermeáveis, reduzindo a perda de água por transpiração. As ceras estão presentes também no revestimento corporal de diversos insetos; certas espécies, como as abelhas, utilizam cera na construção das colmeias.

Ciência e cidadania

Colesterol e saúde

1 Talvez você já tenha ouvido falar em "colesterol bom" e "colesterol ruim". Essas expressões não se referem à própria molécula de colesterol, que é sempre a mesma, mas a proteínas sanguíneas encarregadas do transporte de colesterol e de diversos outros lipídios. Essas proteínas associam-se a lipídios formando lipoproteínas, conhecidas pelas siglas **LDL** (do inglês *low density lipoprotein*, lipoproteína de baixa densidade) e **HDL** (do inglês *high density lipoprotein*, lipoproteína de alta densidade).

2 As LDL são as principais transportadoras de colesterol, enquanto as HDL são as principais transportadoras de fosfolipídios. Ambas, entretanto, podem transportar esses dois tipos de lipídio.

3 O colesterol sintetizado no fígado ou absorvido dos alimentos de origem animal (alimentos de origem vegetal não possuem colesterol) é transportado pelo sangue na forma de LDL. Nos tecidos do corpo, o complexo colesterol-proteína é englobado pelas células, e o colesterol é utilizado como matéria-prima para a síntese das membranas celulares.

4 Concentrações muito elevadas de colesterol no sangue diminuem o processo de captação do complexo colesterol-LDL pelas células. Com isso, o complexo colesterol-LDL em excesso no sangue oxida-se e pode se acumular na parede das artérias, formando placas ateroscleróticas. O crescimento dessas placas pode levar ao entupimento de uma artéria e bloquear o fluxo de sangue. Quando isso ocorre em artérias do coração ou do cérebro, o resultado é um infarto do miocárdio ou uma isquemia cerebral, respectivamente. Por isso, o colesterol associado ao LDL é chamado "colesterol ruim" e não deve estar em excesso no sangue.

5 As lipoproteínas HDL capturam parte do excesso de colesterol do sangue, transportando-o até o fígado, no qual ele é eliminado na bile. Portanto, HDL ajuda a eliminar colesterol do sangue e, por isso, o complexo colesterol-HDL é chamado de "colesterol bom". Acredita-se que a ingestão de óleos vegetais insaturados, como os presentes no azeite de oliva, contribua para manter os níveis normais de colesterol no sangue e para aumentar a produção de HDL. O azeite também aumenta a taxa de secreção de bile pelo fígado, estimulando a digestão e a absorção das gorduras e das vitaminas lipossolúveis.

6 Estudos populacionais têm mostrado uma relação entre os níveis de colesterol no sangue e o risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Segundo a Associação Americana do Coração, a relação entre os níveis de colesterol sanguíneo total de uma pessoa em jejum e o risco para doenças cardiovasculares é a seguinte:

Nível de colesterol sanguíneo (mg/dL)	Risco de doença cardiovascular
< 200	Nível desejável: menor risco de doença cardiovascular
200-240	Limiar de alto risco
> 240	Nível não desejável: alto risco

7 Exames laboratoriais mais modernos permitem estimar os níveis de colesterol-HDL e de colesterol-LDL e tendem a substituir os antigos exames em que se avaliava apenas o colesterol total. Nesse caso, de acordo com a Sociedade Brasileira de Cardiologia, o desejável é que o nível de colesterol-HDL ("bom") seja maior do que 60 mg/dL de sangue e que o de colesterol-LDL ("ruim") seja menor do que 100 mg/dL de sangue para as pessoas em geral ou menor do que 70 mg/dL para pessoas que apresentam alto risco de doenças cardiovasculares.

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1. Leia os dois parágrafos iniciais do quadro. Como você responderia a alguém que afirmasse: "há dois tipos de molécula de colesterol: um bom e outro ruim para o organismo"?
2. O terceiro parágrafo apresenta a função normal do transporte de colesterol pelo LDL sanguíneo. Certifique-se de ter compreendido por que o colesterol, em níveis normais, é necessário ao nosso organismo.
3. Leia o quarto parágrafo do quadro e responda resumidamente ou por meio de um esquema: qual é a relação entre o excesso de colesterol sanguíneo e a formação de placas ateroscleróticas? Qual é a consequência disso para a saúde?
4. Pela leitura do quarto e do quinto parágrafos podemos reunir informações para definir o que é "colesterol ruim" e "colesterol bom". Certifique-se de ter compreendido a diferença entre eles. Segundo o texto, que providências adotadas em nossa dieta podem diminuir o "colesterol ruim" e aumentar o "colesterol bom"?
5. Os dois últimos parágrafos (6 e 7) do quadro relacionam o nível de colesterol sanguíneo ao risco de doenças cardiovasculares. Com base no que foi discutido no texto, você acha que os exames individualizados dos níveis de LDL e HDL forneceriam mais ou menos informações sobre o metabolismo da pessoa que o exame do colesterol total no sangue? Por quê?

3.4 Proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos

O que são proteínas?

Proteínas são substâncias formadas por dezenas, centenas ou milhares de moléculas de aminoácido, ligadas em sequência como elos em uma corrente. Para aplicar um conceito apresentado anteriormente no capítulo, proteínas são polímeros cujos monômeros são aminoácidos.

Um **aminoácido** é uma molécula orgânica formada por átomos de carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio unidos entre si de maneira característica, como veremos a seguir. Certos tipos de aminoácido podem ainda conter átomos de enxofre.

Se compararmos as fórmulas dos vinte aminoácidos que entram na composição das proteínas notaremos que todos apresentam um átomo de carbono denominado carbono-alfa, ao qual se ligam um grupo amina (—NH_2), um grupo carboxila (—COOH), um átomo de hidrogênio (—H) e um quarto grupo genericamente denominado —R (de radical), que varia nos diferentes aminoácidos e caracteriza cada um deles. Por exemplo, na glicina, o grupo —R é um átomo de hidrogênio (—H); na alanina, o radical é —CH_3; na cisteína, é o grupamento —CH_2SH. (Fig. 3.12)

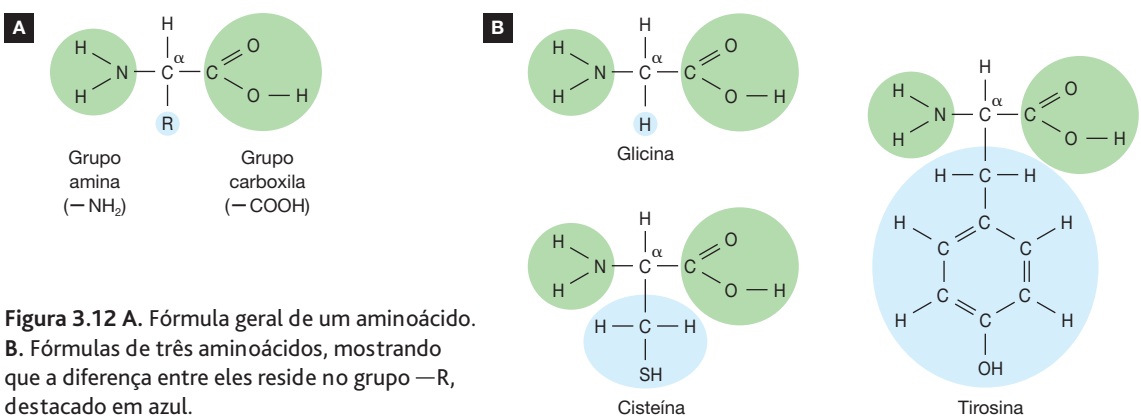


Figura 3.12 A. Fórmula geral de um aminoácido. **B.** Fórmulas de três aminoácidos, mostrando que a diferença entre eles reside no grupo —R, destacado em azul.

Ligação peptídica

A ligação entre dois aminoácidos vizinhos em uma molécula de proteína é denominada **ligação peptídica** e sempre se estabelece entre o grupo amina de um aminoácido e o grupo carboxila do aminoácido vizinho. (Fig. 3.13)

Moléculas resultantes da condensação de aminoácidos são genericamente chamadas de **peptídios**. Dois aminoácidos unidos constituem um dipeptídio; três aminoácidos unidos formam um tripeptídio, quatro um tetrapeptídio e assim por diante. Os termos oligopeptídio (do grego *oligo*, pouco) e polipeptídio (do grego *poli*, muito) são também usados para denominar as moléculas formadas, respectivamente, por poucos e por muitos aminoácidos. Como as proteínas são geralmente constituídas por grande número de aminoácidos, elas são polipeptídios.

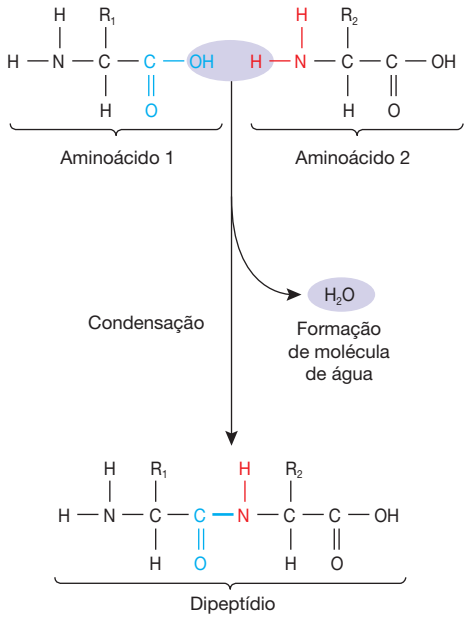


Figura 3.13 Representação esquemática da formação de uma ligação peptídica entre dois aminoácidos.

Em que diferem as proteínas?

As proteínas podem diferir umas das outras nos seguintes aspectos: a) pela quantidade de aminoácidos presentes na cadeia polipeptídica; b) pelos tipos de aminoácidos presentes na cadeia; c) pela sequência em que os aminoácidos estão unidos na cadeia. Assim, mesmo que duas proteínas possuam exatamente o mesmo número e as mesmas proporções de tipos de aminoácido, elas podem ser diferentes, dependendo da sequência em que esses aminoácidos estão unidos. Teoricamente, há um número muito grande de combinações possíveis entre os vinte tipos de aminoácido nas proteínas. E, de fato, já foram identificados milhares de tipos de proteína nos organismos vivos; calcula-se que no corpo de uma pessoa existam entre 100 mil e 200 mil tipos diferentes de proteína.

Arquitetura das proteínas

A sequência linear de aminoácidos de uma cadeia polipeptídica é denominada **estrutura primária**, determinando os enrolamentos e dobramentos que ocorrerão na cadeia. Em outras palavras, é a estrutura primária do polipeptídio que determina sua forma no espaço, genericamente chamada de **estrutura espacial**. A maioria dos polipeptídios apresenta um primeiro nível de enrolamento helicoidal, chamado de estrutura secundária, comparável ao de um fio de telefone. A cadeia polipeptídica, já enrolada helicoidalmente em estrutura secundária, costuma dobrar-se sobre si mesma formando o que os bioquímicos chamam de estrutura terciária.

Certas proteínas são constituídas por apenas uma cadeia polipeptídica, enquanto outras são compostas de duas ou mais cadeias polipeptídicas quimicamente unidas. Assim, além da estrutura terciária apresentada pelas cadeias polipeptídicas isoladas, há mais um nível de organização espacial, que os bioquímicos denominam estrutura quaternária. A hemoglobina do nosso sangue, por exemplo, é composta pela associação de quatro cadeias polipeptídicas individuais, sendo duas delas chamadas de cadeias α (alfa) e as outras duas chamadas de cadeias β (beta); essas quatro cadeias estão associadas a um grupamento químico que contém ferro (o grupo heme).

Desnaturação das proteínas

A temperatura, o grau de acidez, a concentração de sais e a polaridade do meio podem afetar a estrutura espacial das proteínas, fazendo com que suas moléculas se desenrolem e modifiquem-se em relação à configuração original. A alteração causada na estrutura espacial de uma proteína é chamada desnaturação.

O calor excessivo desnatura as proteínas porque o aumento da agitação molecular provocado pela alta temperatura rompe determinadas ligações responsáveis pela manutenção da forma das moléculas. Por exemplo, em um ovo fresco cada molécula de albumina é um pequeno glóbulo em solução aquosa, o que determina a consistência semilíquida da clara.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

NATTIKA/SHUTTERSTOCK

NIKOLA BILIC/SHUTTERSTOCK

Figura 3.14 O ovo é muito rico em proteínas. Seu cozimento provoca uma alteração na forma espacial de suas moléculas proteicas, que se aglomeram provocando o endurecimento da clara e da gema.

Ao cozinharmos o ovo, o calor do cozimento faz com que as moléculas de albumina desnaturem, desenrolando-se e emaranhando-se umas às outras; isso leva à formação da massa compacta e sólida da clara do ovo cozido ou frito. (Fig. 3.14)

Meios fortemente ácidos ou básicos também podem desnaturar proteínas, desmantelando as atrações elétricas responsáveis pela estrutura espacial das moléculas proteicas. Na fabricação dos queijos e iogurtes, o acúmulo de ácido láctico liberado por microrganismos fermentadores acidifica o leite e desnatura suas proteínas, que se emaranham e solidificam.

Funções das proteínas

As proteínas são substâncias de fundamental importância na estrutura e no funcionamento dos seres vivos. A forma das células, por exemplo, deve-se à presença de um esqueleto interno constituído por filamentos proteicos, o citoesqueleto. Além disso, as proteínas fazem parte da estrutura de todas as membranas celulares e dão consistência ao citoplasma. Além da função estrutural, um grupo de proteínas denominadas enzimas participa de praticamente todas as reações químicas vitais. Consequentemente, o metabolismo dos seres vivos depende da ação de proteínas enzimáticas, como veremos a seguir.

Enzimas

Enzimas são catalisadores biológicos, participando de processos biológicos, mas sem se alterarem durante o processo. Enzimas são geralmente moléculas de grande tamanho, enroladas sobre si mesmas formando uma estrutura globular. Na superfície das enzimas há saliências e reentrâncias que permitem seu encaixe nas substâncias sobre as quais elas atuam, genericamente chamadas de substratos enzimáticos. Os locais da enzima que propiciam o encaixe nos substratos são denominados centros ativos enzimáticos.

Enzimas têm atuações específicas, ou seja, uma enzima atua somente em uma ou em poucas reações biológicas. A especificidade de uma enzima é explicada pelo fato de seus centros ativos se encaixarem corretamente apenas a substratos específicos.

O encaixe com a enzima facilita a modificação dos substratos, originando os produtos da reação. Uma vez formados os produtos, a enzima se liberta e pode se ligar a novos substratos, voltando a atuar. (Fig. 3.15)

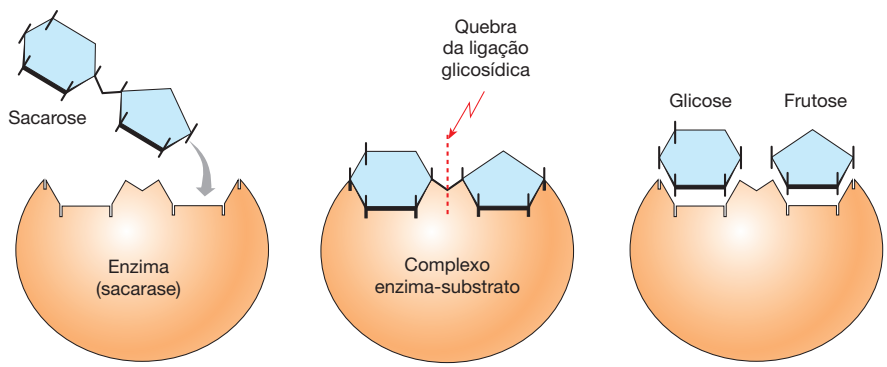


Figura 3.15 Modelo de ação enzimática, representado na ilustração pela enzima sacarase ou invertase. Ao se ligar à molécula de sacarose, a enzima sacarase facilita a quebra da ligação entre os monossacarídios que compõem o dissacarídio, liberando glicose e frutose. Ao final da reação, a enzima sacarase pode se associar novamente a outra molécula de sacarose. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÃO: PAULO MANZI

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A nomenclatura das enzimas costuma utilizar o nome do substrato enzimático sobre o qual atua (proteína, lipídio etc.) acrescido do sufixo *-ase*. Para designar as enzimas que digerem proteínas, por exemplo, falamos em proteases; enzimas que digerem lipídios são lipases. O sufixo *-ase* também é utilizado em denominações mais específicas, como na enzima que quebra lactose em galactose e glicose, que é denominada lactase.

Cofatores e coenzimas

Muitas enzimas são proteínas simples, constituídas apenas por cadeias polipeptídicas. Outras, entretanto, são proteínas conjugadas, constituídas por uma parte proteica (uma ou mais cadeias polipeptídicas), chamada de apoenzima, combinada a uma parte não proteica, denominada cofator. Para algumas enzimas, os cofatores são íons metálicos; a maioria dos íons que necessitamos ingerir na dieta, entre eles os de cobre, de zinco e de manganês, atua como cofatores de enzimas. O cofator enzimático também pode ser uma substância orgânica, nesse caso denominada coenzima. A maioria das vitaminas de que necessitamos na dieta atua como coenzima ou como precursor de coenzimas.

Fatores que afetam a atividade das enzimas

A temperatura é um fator importante na atividade das enzimas. Dentro de certos limites, a velocidade de uma reação enzimática aumenta com a elevação da temperatura. Isso ocorre porque o aumento da temperatura eleva a movimentação das moléculas, possibilitando maior número de encontros entre elas e maiores chances de reagirem entre si. Entretanto, se for ultrapassada certa temperatura limite, a agitação molecular torna-se tão intensa que leva à desnaturação da enzima, com diminuição ou perda da atividade enzimática.

Cada tipo de enzima atua melhor em uma faixa de temperatura característica (temperatura ótima), na qual a velocidade da reação catalisada é máxima, porém sem desnaturação da enzima. A maioria das enzimas humanas tem sua temperatura ótima situada entre 35 °C e 40 °C, que corresponde à faixa de temperatura normal de nosso corpo. Bactérias que vivem em fontes de água quente têm enzimas cuja temperatura ótima de atuação situa-se ao redor de 70 °C ou mais. (Fig. 3.16A)

Outro fator que afeta a atividade das enzimas é o grau de acidez do meio ou pH (potencial hidrogeniônico), expresso em uma escala logarítmica que vai de 0 a 14. Esses valores de pH expressam a concentração relativa do íon de hidrogênio (H^+) em determinado meio. Como mencionado neste capítulo, o valor 7 representa um meio neutro, nem ácido nem básico; valores abaixo de 7 são progressivamente mais ácidos e os acima de 7 são progressivamente mais básicos (alcalinos). Por exemplo, uma solução de bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) tem pH em torno de 9, enquanto o vinagre tem pH em torno de 4. Isso quer dizer que, no vinagre, a concentração de íons H^+ é cerca de 100 mil vezes maior do que em uma solução de bicarbonato de sódio.

Assim como em relação à temperatura, cada enzima também apresenta um pH ótimo de atuação, no qual sua atividade é máxima. Fora dessa faixa de pH, a enzima deixa de funcionar adequadamente. O pH ótimo para a maioria das enzimas celulares situa-se ao redor de 7, próximo ao neutro. A enzima pepsina que atua em nosso estômago funciona mais eficientemente em valores de pH fortemente ácidos, em torno de 2, condição em que a maioria das outras enzimas deixa de funcionar. A tripsina, enzima digestiva que atua no ambiente alcalino do intestino delgado, tem seu pH ótimo em torno de 8. (Fig. 3.16B)

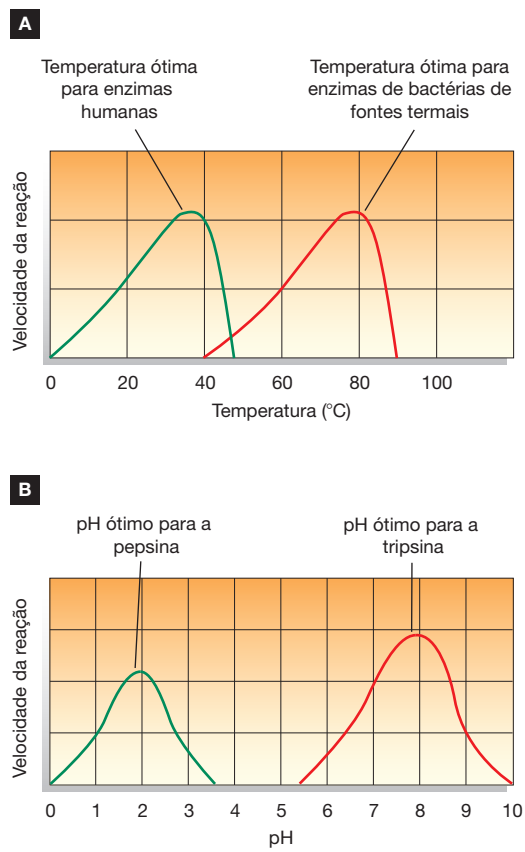


Figura 3.16 Curvas de atividade de diferentes enzimas em condições diversas de temperatura (**A**) e de grau de acidez (pH) (**B**). Note que cada enzima tem uma temperatura e um pH ótimos, em que sua atividade é máxima. (Elaboradas com base em Campbell, N. A. e cols., 1999.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Amplie seus conhecimentos

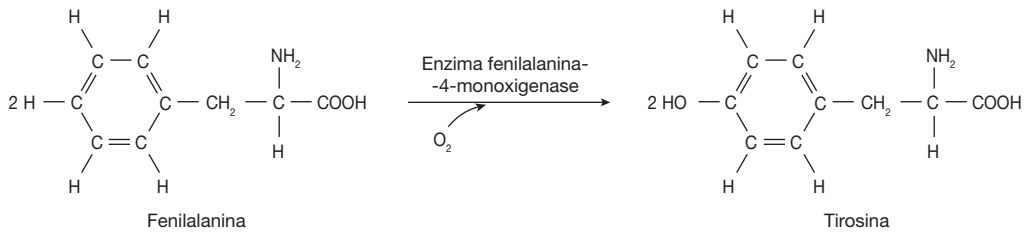
"Teste do pezinho"

O conhecimento científico sobre enzimas e genes tem permitido o desenvolvimento de diagnósticos precisos e, em alguns casos, o tratamento para doenças de origem genética. Um exemplo refere-se à fenilcetonúria, uma doença decorrente da incapacidade inata de uma pessoa produzir determinada enzima. Essa doença pode ser controlada quando diagnosticada no recém-nascido. Para o diagnóstico, basta uma gota de sangue obtida com uma leve punção no pé da criança, o chamado "teste do pezinho".

A pessoa portadora da condição genética responsável pela fenilcetonúria não produz a enzima que transforma o aminoácido fenilalanina em tirosina. Nessa situação, a fenilalanina tende a se acumular no corpo e pode causar danos às células cerebrais, principalmente na infância.

Os piores efeitos da fenilcetonúria são evitados se a doença é detectada prematuramente e se o portador passa a receber uma dieta que forneça apenas as quantidades mínimas de fenilalanina necessárias ao desenvolvimento. Pessoas fenilcetonúricas adultas devem evitar o excesso de proteínas na alimentação e o uso de adoçantes artificiais feitos à base de aspartame, que contêm fenilalanina e ácido aspártico.

A



B

SIMON FRASER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

A. Reação catalisada pela enzima fenilalanina-4-monoxigenase, cuja ausência é a principal causa da fenilcetonúria, que afeta 1 em cada 20 mil pessoas. **B.** Retirada de sangue do pé de um recém-nascido para o teste de fenilcetonúria e de outras doenças ("teste do pezinho").

O que são vitaminas?

O termo **vitamina** não se refere a uma classe particular de substâncias, mas a qualquer substância orgânica que o organismo não consegue produzir, geralmente necessária em quantidades relativamente pequenas. A vitamina C, por exemplo, essencial ao bom funcionamento do organismo humano e dos demais primatas (símios e macacos), é o ácido ascórbico. Outros animais também necessitam de ácido ascórbico, mas conseguem produzi-lo em suas células; assim, para eles, o ácido ascórbico não é considerado vitamina. Os cientistas descobriram que muitas vitaminas atuam como cofatores em reações enzimáticas. Nesse caso, a deficiência de dada vitamina diminui a quantidade de enzima ativa, alterando negativamente o metabolismo celular.

A importância da alimentação variada começou a ser reconhecida durante a época das grandes navegações a vela. A dieta da tripulação dos navios era pobre, constituída basicamente por biscoitos secos e carne salgada. Após algumas semanas no mar, os marinheiros tornavam-se fracos, desatentos, tinham fortes hemorragias nasais e chegavam a morrer. Bastava, no entanto, que os doentes passassem alguns dias em terra firme, alimentando-se de frutas e verduras frescas, para que os sintomas rapidamente desaparecessem.

Os alimentos são as fontes naturais de vitaminas. Atualmente, as vitaminas também podem ser encontradas no comércio na forma purificada, sendo prescritas pelos médicos para eliminar deficiências vitamínicas, geralmente causadas por uma dieta pobre ou desbalanceada ou por algum tipo de disfunção metabólica. Para que os alimentos não percam seu valor vitamínico, são precisos certos cuidados, pois algumas vitaminas são facilmente destruídas pelo calor ou pela exposição ao gás oxigênio (O_2) do ar. Uma regra geral para preservar o valor vitamínico de verduras e legumes é consumi-los crus ou apenas levemente cozidos em pequena quantidade de água. Vegetais para saladas e frutas só devem ser cortados no momento de ser servidos, para evitar a oxidação destrutiva de suas vitaminas pelo ar.

As vitaminas costumam ser classificadas em hidrossolúveis e lipossolúveis. A importância dessa classificação está relacionada ao modo como elas devem ser ingeridas e a seu armazenamento no organismo. Vitaminas hidrossolúveis, assim chamadas por serem substâncias polares e dissolverem-se em água, são armazenadas em quantidades pequenas no corpo e devem ser ingeridas diariamente. Vitaminas lipossolúveis, assim chamadas por serem substâncias apolares e dissolverem-se em lipídios e em outros solventes orgânicos, são armazenadas no tecido adiposo e não precisam ser ingeridas diariamente. As doenças resultantes da falta de vitaminas são denominadas **avitaminoses**. Veja as principais vitaminas, suas funções, avitaminoses e seus sintomas na tabela a seguir. (Tab. 3.1)

TABELA 3.1 PRINCIPAIS VITAMINAS E SUAS FUNÇÕES

VITAMINAS HIDROSSOLÚVEIS

Vitamina	Principal função no corpo	Sintomas de deficiência	Principais fontes
B1 (tiamina)	Auxilia na oxidação dos carboidratos. Estimula o apetite. Mantém o tônus muscular e o bom funcionamento do sistema nervoso. Previne o beribéri.	Perda de apetite, fadiga muscular, nervosismo, beribéri.	Cereais na forma integral e pães, feijão, fígado, carne de porco, ovos, fermento de padaria, vegetais de folha (couve, repolho, espinafre etc.).
B2 (riboflavina)	Auxilia a oxidação dos alimentos (respiração celular). Mantém a tonalidade saudável da pele. Atua na coordenação motora.	Ruptura da mucosa da boca, dos lábios, da língua e das bochechas.	Vegetais de folha, carnes magras, ovos, fermento de padaria, fígado, leite.
B3 (niacina ou ácido nicotínico)	Mantém o tônus nervoso e muscular e o bom funcionamento do sistema digestório. Previne a pelagra.	Inércia e falta de energia, nervosismo extremo, distúrbios digestivos, pelagra.	Levedo de cerveja, carnes magras, ovos, fígado, leite.
B5 (ácido pantotênico)	É componente da coenzima A, participante de processos energéticos celulares.	Anemia, fadiga e dormência dos membros.	Carne, leite e seus derivados, verduras e cereais integrais.
B6 (piridoxina)	Auxilia na oxidação dos alimentos. Mantém a pele saudável.	Doenças da pele, distúrbios nervosos, inércia e extrema apatia.	Levedo de cerveja, cereais integrais, fígado, carnes magras, leite.
B8 (biotina)	Atua como coenzima em processos energéticos celulares, na síntese de ácidos graxos e das bases nitrogenadas púricas.	Inflamações na pele e distúrbios neuromusculares.	Carnes, legumes, verduras e bactérias da flora intestinal.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

VITAMINAS HIDROSSOLÚVEIS			
Vitamina	**Principal função no corpo**	**Sintomas de deficiência**	**Principais fontes**
B9 (ácido fólico)	Importante na síntese das bases nitrogenadas e, portanto, na síntese de DNA e na multiplicação celular.	Anemia, esterilidade masculina, durante a gravidez predispõe a uma malformação do feto conhecida como espinha bífida.	Vegetais verdes, frutas, cereais integrais e bactérias da flora intestinal.
B12 (cianocobalamina)	É essencial para a maturação das hemácias e para a síntese de nucleotídios.	Anemia perniciosa e distúrbios nervosos.	Carne, ovos, leite e seus derivados.
C (ácido ascórbico)	Mantém a integridade dos vasos sanguíneos e a saúde dos dentes. Previne infecções e o escorbuto.	Inércia e fadiga em adultos, insônia e nervosismo em crianças, sangramento das gengivas, dores nas juntas, dentes alterados, escorbuto.	Frutas cítricas (limão, lima, laranja), tomate, couve, repolho, outros vegetais de folha, pimentão.
VITAMINAS LIPOSSOLÚVEIS			
A (retinol)	Necessária para o crescimento normal e para o bom funcionamento dos olhos, do nariz, da boca, dos ouvidos e dos pulmões. Previne resfriados e várias infecções. Evita a "cegueira noturna".	"Cegueira noturna" (xeroftalmia), "olhos secos" em crianças, cegueira total.	Vegetais amarelos (cenoura, abóbora, batata-doce, milho), pêssego, nectarina, abricó, gema de ovo, manteiga, fígado.
D* (calciferol)	Atua no metabolismo do cálcio e do fósforo. Mantém os ossos e os dentes em bom estado. Previne o raquitismo.	Problemas nos dentes, ossos fracos, contribui para os sintomas da artrite, raquitismo.	Óleo de fígado de bacalhau, fígado, gema de ovo.
E (tocoferol)	Promove a fertilidade. Previne o aborto. Atua no sistema nervoso involuntário, no sistema muscular e nos músculos involuntários.	Esterilidade masculina, aborto.	Óleo de germe de trigo, carnes magras, laticínios, alface, óleo de amendoim.
K (filoquinona)	Atua na coagulação do sangue. Previne hemorragias.	Hemorragias.	Vegetais verdes, tomate, castanha.

* A vitamina D não é encontrada pronta na maioria dos alimentos; estes contêm, em geral, um precursor que se transforma em vitamina D quando exposto aos raios ultravioleta da radiação solar. (Adaptado de Campbell, N. A. e cols., 1999.)

Ácidos nucleicos

Os **ácidos nucleicos** são assim chamados por seu caráter ácido e por terem sido originalmente descobertos no núcleo das células no século XIX. A partir da década de 1940, os ácidos nucleicos passaram a ser detalhadamente estudados, pois descobriu-se que eles constituem os genes, entidades responsáveis pela herança biológica. Somos parecidos com nossos pais porque recebemos, nos gametas que nos originaram, genes paternos e maternos, constituídos por ácido desoxirribonucleico.

Há dois tipos de ácido nucleico: o **ácido desoxirribonucleico**, conhecido pela sigla **DNA** (do inglês, *desoxirribonucleic acid*), e o **ácido ribonucleico**, conhecido pela sigla **RNA** (do inglês, *ribonucleic acid*). Esses nomes referem-se ao fato de o DNA e o RNA apresentarem, respectivamente, os monossacarídios desoxirribose e ribose em suas moléculas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estrutura dos ácidos nucleicos

Os ácidos nucleicos são constituídos por três tipos de componentes: glicídios do grupo das pentoses (desoxirribose no DNA e ribose no RNA), ácido fosfórico e bases nitrogenadas. Dos cinco tipos de base nitrogenada presentes nos ácidos nucleicos, três ocorrem tanto no DNA quanto no RNA; são elas a **adenina** (**A**), a **citosina** (**C**) e a **guanina** (**G**). A base nitrogenada **timina** (**T**) ocorre exclusivamente no DNA, enquanto a base **uracila** (**U**) está presente apenas no RNA. As bases adenina e guanina são constituídas por dois anéis de carbono e nitrogênio, sendo denominadas bases púricas ou purinas. Citosina, timina e uracila apresentam apenas um anel de carbono e nitrogênio, sendo denominadas bases pirimídicas ou pirimidinas.

Os componentes dos ácidos nucleicos organizam-se em um trio molecular denominado **nucleotídio**. Tanto o DNA como o RNA são constituídos por nucleotídios ligados em sequência em longas cadeias polinucleotídicas. A união entre os nucleotídios dá-se entre o açúcar de um deles e o fosfato do outro, ligação denominada fosfodiéster.

As moléculas de DNA são constituídas por duas cadeias polinucleotídicas orientadas em sentido inverso uma em relação à outra (antiparalelas) e enroladas, lembrando uma longa escada helicoidal. As duas cadeias mantêm-se unidas por pontes de hidrogênio estabelecidas entre pares de bases específicas: a adenina emparelha-se com a timina por meio de duas ligações de hidrogênio, enquanto a guanina emparelha-se com a citosina por meio de três ligações de hidrogênio. (Fig. 3.17)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

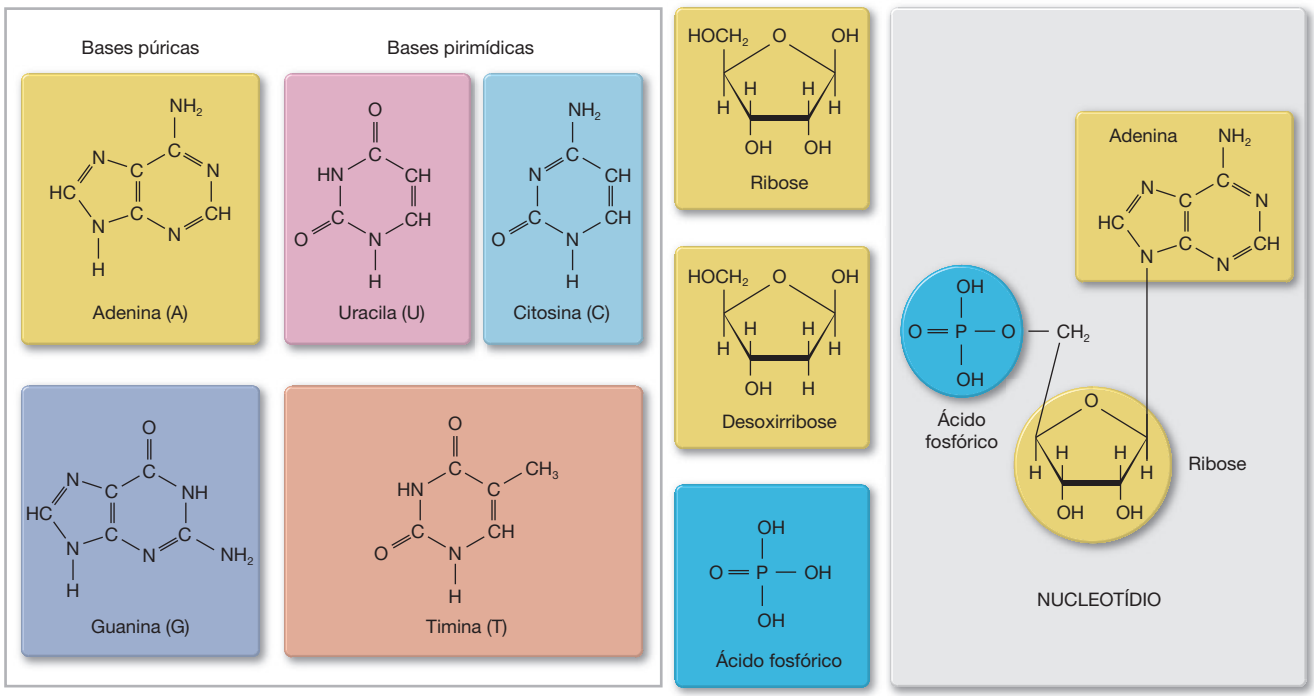


Figura 3.17 Componentes dos ácidos nucleicos. O açúcar desoxirribose e a base nitrogenada timina ocorrem exclusivamente no DNA. O açúcar ribose e a base uracila são exclusivos do RNA. Os demais componentes são comuns ao DNA e ao RNA.

As moléculas de DNA são geralmente muito longas, com milhares ou milhões de nucleotídios unidos em sequência. No núcleo de nossas células, constituindo nossos cromossomos, há moléculas de DNA que chegam a atingir mais de 10 centímetros de comprimento, embora sejam finíssimas, com cerca de apenas 0,000002 milímetros ou 2 nanômetros (nm) de diâmetro.

As moléculas de RNA são geralmente formadas por uma cadeia única, que pode se enrolar sobre si mesma pelo emparelhamento entre bases complementares na mesma cadeia polinucleotídica. O estudo dos ácidos nucleicos será retomado com mais detalhes no capítulo 6 deste volume.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

1. As substâncias orgânicas de um ser vivo são, em ordem decrescente de abundância, 1. d

a) ácidos nucleicos > proteínas > glicídios > lipídios.

b) lipídios > glicídios > proteínas > ácidos nucleicos.

c) proteínas > glicídios > ácidos nucleicos > lipídios.

d) proteínas > lipídios > glicídios > ácidos nucleicos.

2. Para degradarmos uma proteína em seus aminoácidos constituintes, precisamos quebrar 2. a

a) ligações peptídicas, o que consome água como reagente.

b) ligações peptídicas, o que consome gás oxigênio como reagente.

c) pontes de hidrogênio, o que consome água como reagente.

d) pontes de hidrogênio, o que não consome reagentes.

3. Nossa dieta deve conter, necessariamente, o aminoácido triptofano, pois o corpo humano não consegue produzi-lo. O bolor do pão, por sua vez, não precisa ter nenhum aminoácido em sua dieta, pois é capaz de produzir todos os vinte tipos de aminoácido de que necessita. O triptofano é, portanto, um aminoácido 3. a

a) essencial para a espécie humana, mas natural para o bolor do pão.

b) natural para a espécie humana, mas essencial para o bolor do pão.

c) essencial tanto para a espécie humana quanto para o bolor do pão.

d) natural tanto para a espécie humana quanto para o bolor do pão.

4. Quando uma proteína se desnatura, ela 4. b

a) tem sua estrutura primária modificada.

b) tem sua estrutura espacial modificada.

c) sofre hidrólise.

d) tem suas ligações peptídicas quebradas.

5. "Quando separamos as quatro cadeias polipeptídicas que constituem uma molécula de hemoglobina, porém sem alterar a estrutura espacial de cada uma delas, estamos modificando apenas a estrutura (▬) da proteína." Qual das alternativas completa corretamente a frase? 5. d

a) primária **c)** terciária

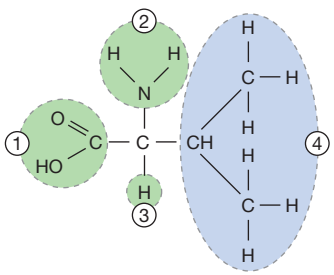
b) secundária **d)** quaternária

Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

6. É importante ter consciência dos tipos de substância que comemos, suas quantidades e seu valor calórico (quantidade de energia que fornecem), principalmente quando se trata de produtos industrializados. Ultimamente, com o lançamento de muitos produtos dietéticos, os fabricantes foram obrigados por lei a informar, na embalagem, dados sobre a composição química do produto. Faça uma pesquisa nos alimentos que porventura tenha em sua casa e descubra aqueles cujas embalagens trazem dados sobre a composição química do conteúdo. Se necessário, vá a um supermercado e anote os dados dos rótulos de diversos produtos. Compare os resultados de sua pesquisa com os de seus colegas e classifique os produtos de acordo com seu conteúdo em proteínas, em glicídios e em lipídios.

7. Observe a fórmula do aminoácido valina, encontrado nas proteínas dos seres vivos. Note que há partes da molécula destacadas e numeradas.



Sobre esses destaques, responda:

a) O que representam os números 1, 2, 3 e 4?

b) Qual desses grupos destacados varia de acordo com o aminoácido?

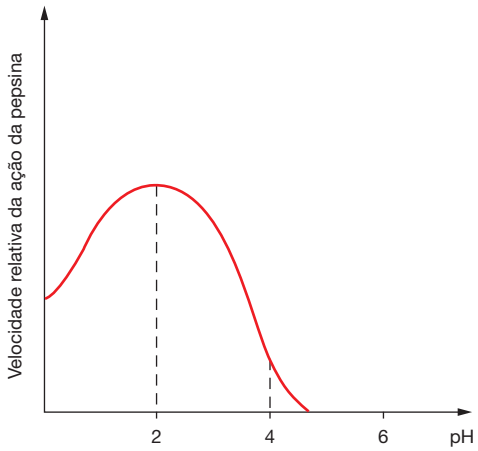
8. A explicação para a especificidade de uma enzima por seu substrato recebe a denominação de modelo chave-fechadura. Redija um breve texto argumentando a favor dessa denominação.

9. Os dados a seguir mostram os resultados de análises químicas a que foram submetidas quatro amostras de ácidos nucleicos (I a IV). Determine, para cada amostra, se o ácido nucleico é DNA ou RNA, justificando a resposta.

Amostra	Resultado da análise química
I	Presença de ribose
II	Presença de timina
III	Presença de uracila
IV	Presença de desoxirribose

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10. Observe o gráfico a seguir, que ilustra a ação da enzima estomacal pepsina em diferentes faixas de acidez (pH).



ADILSON SECCO

Com base nos dados apresentados no gráfico, responda:

a) Qual é a faixa de pH mais favorável à ação dessa enzima?

b) A partir de que valores de pH a pepsina para de atuar?

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (PUC-RJ) Na preparação do meio de cultura para células animais, o técnico de um determinado laboratório esqueceu-se de adicionar o suprimento de aminoácidos. Que moléculas terão sua formação imediatamente prejudicada? 1. d

a) lipídeos
b) glicídeos
c) nucleotídeos
d) proteínas
e) ácidos nucleicos

2. (Fuvest-SP) Leia o texto a seguir, escrito por Jacob Berzelius em 1828. "Existem razões para supor que, nos animais e nas plantas, ocorrem milhares de processos catalíticos nos líquidos do corpo e nos tecidos. Tudo indica que, no futuro, descobriremos que a capacidade de os organismos vivos produzirem os mais variados tipos de compostos químicos reside no poder catalítico de seus tecidos." A previsão de Berzelius estava correta, e hoje sabemos que o "poder catalítico" mencionado no texto deve-se 2. d

a) aos ácidos nucleicos.
b) aos carboidratos.
c) aos lipídios.
d) às proteínas.
e) às vitaminas.

3. (Uece) Sabe-se que o carboidrato é o principal fator a contribuir para a obesidade, por entrar mais diretamente na via glicolítica, desviando-se para a produção de gordura, se ingerido em excesso. Uma refeição composta de bolacha (amido processado industrialmente) e vitamina de sapoti (sapoti, rico em frutose), leite (rico em lactose) e açúcar (sacarose processada industrialmente) pode contribuir para o incremento da obesidade, por ser, conforme a descrição acima, visivelmente rica em 3. d

a) lipídios.
b) proteínas.
c) vitaminas.
d) glicídios.

4. (UFMA) As enzimas biocatalisadoras da indução de reações químicas reconhecem seus substratos através da 4. b

a) temperatura do meio.
b) forma tridimensional das moléculas.
c) energia de ativação.
d) concentração de minerais.
e) reversibilidade da reação.

5. (Uece) Com relação à composição das moléculas, o RNA e o DNA diferem entre si quanto ao tipo de 5. b

a) açúcar apenas.
b) base nitrogenada e de açúcar apenas.
c) base nitrogenada e de fosfato apenas.
d) base nitrogenada, açúcar e de fosfato.

6. (UFRN) Embora seja visto como um vilão, o colesterol é muito importante para o organismo humano porque ele é 6. a

a) precursor da síntese de testosterona e progesterona.
b) agente oxidante dos carboidratos.
c) responsável pela resistência de cartilagens e tendões.
d) cofator das reações biológicas.

Questões discursivas

7. (UEG-GO) Em 1747, o médico escocês James Lind publicou um tratado no qual esclareceu a prevenção do escorbuto. Sobre esse tema, responda ao que se pede.

a) Que vitamina hidrossolúvel se encontra deficiente nas pessoas com escorbuto?

b) Qual a função das vitaminas nas reações enzimáticas?

8. (Unicamp-SP) Os lipídios têm papel importante na estocagem de energia, estrutura de membranas celulares, visão, controle hormonal, entre outros. São exemplos de lipídios: fosfolipídios, esteroides e carotenoides.

a) Como o organismo humano obtém os carotenoides? Que relação têm com a visão?

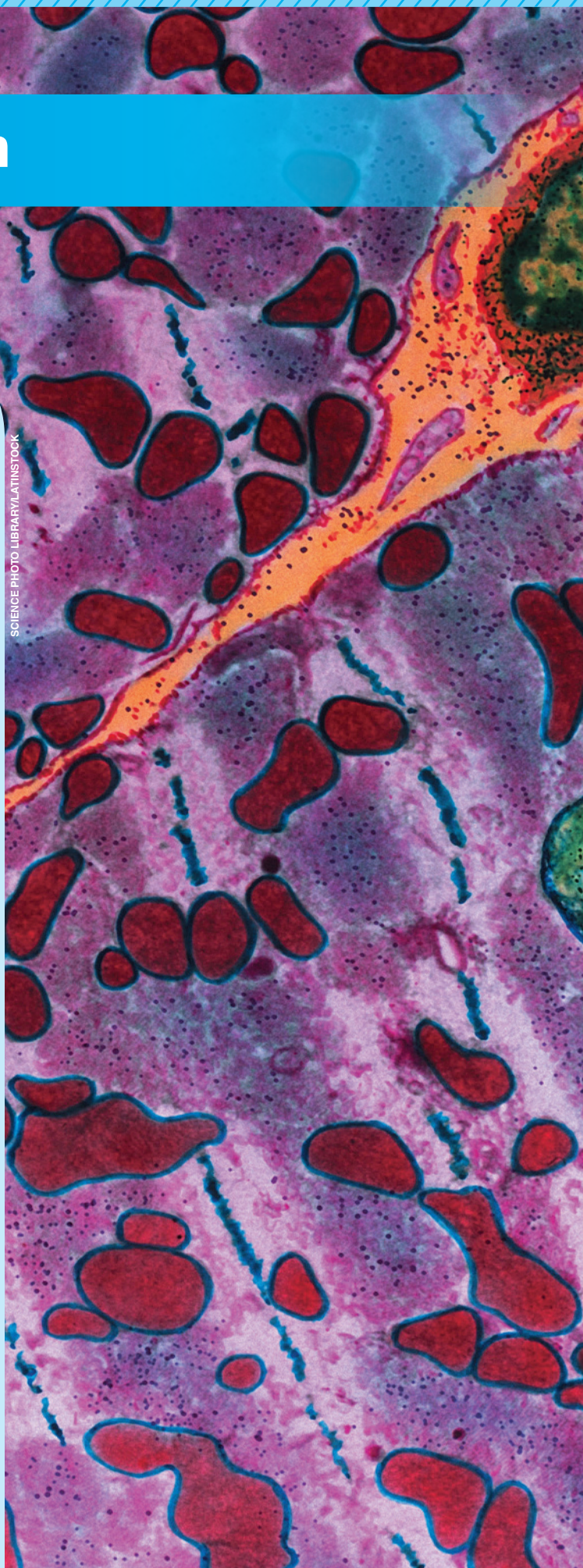
b) A quais das funções citadas no texto os esteroides estão relacionados? Cite um esteroide importante para uma dessas funções.

c) Cite um local de estocagem de lipídios em animais e um em vegetais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MÓDULO 2

Citologia



SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Conheça os capítulos deste módulo

Seres humanos, minhocas, cogumelos, alfaces e bactérias: todos são constituídos pelo mesmo "tijolo" biológico básico, a célula. Esse incrível grau de semelhança, em um nível de organização tão fundamental, é considerado uma forte evidência de que todos os seres vivos partilham um ancestral comum. Há quase dois séculos, o médico alemão Rudolf Virchow, um dos grandes divulgadores da teoria celular, afirmou que, para se compreender plenamente o fenômeno vida, *seria preciso conhecer as células, e isso continua valendo atualmente.*

Capítulo 4

Apresentamos aqui alguns microscopistas pioneiros e como ocorreu a descoberta da célula. À medida que a qualidade dos microscópios melhorava e as técnicas citológicas avançavam, ficava cada vez mais evidente que muitos dos segredos da vida só poderiam ser desvendados no plano microscópico. Essa é a essência da teoria celular, tratada neste capítulo: a célula é a unidade da vida.

Capítulo 5

Iniciamos, neste capítulo, uma viagem ao interior da célula eucariótica, lembrando que nosso corpo é constituído por trilhões de células. O pensamento, a imaginação e as técnicas microscópicas e bioquímicas nos conduzirão nessa viagem investigativa. Como vamos lidar com elementos microscópicos e nanoscópicos, é necessário que fiquemos sempre atentos às escalas de tamanho.

Capítulo 6

Aqui, nossa viagem ao interior da célula chega ao centro de controle das atividades celulares: o núcleo. Nele está presente a cromatina, constituída pelo conjunto de filamentos denominados cromossomos, os quais se duplicam e se separam na mitose, processo de divisão celular em que uma célula origina duas células-filhas, transmitindo-lhes o conjunto de informações genéticas fundamentais para sua vida. Veremos como os genes determinam a síntese das proteínas e, por meio dela, controlam o funcionamento da célula e, por extensão, do organismo como um todo.

Capítulo 4

TETRA IMAGES/CORBIS/LATINSTOCK

A descoberta das células

Itens principais:

- A invenção do microscópio
- As partes fundamentais da célula
- A teoria celular
- O desenvolvimento da Citologia
- Células procarióticas e eucarióticas

Capítulo 5

EYE OF SCIENCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Membrana celular e citoplasma

Itens principais:

- Construindo o modelo atual de célula
- Características das membranas biológicas (biomembranas)
- Retículo endoplasmático
- Complexo golgiense
- Lisossomos e digestão intracelular
- Sustentação celular: paredes e citoesqueleto
- Centríolos, flagelos e cílios
- Mitocôndrias e plastos

Capítulo 6

JEREMY SUTTON-HIBBERT/ALAMY/GLOW IMAGES

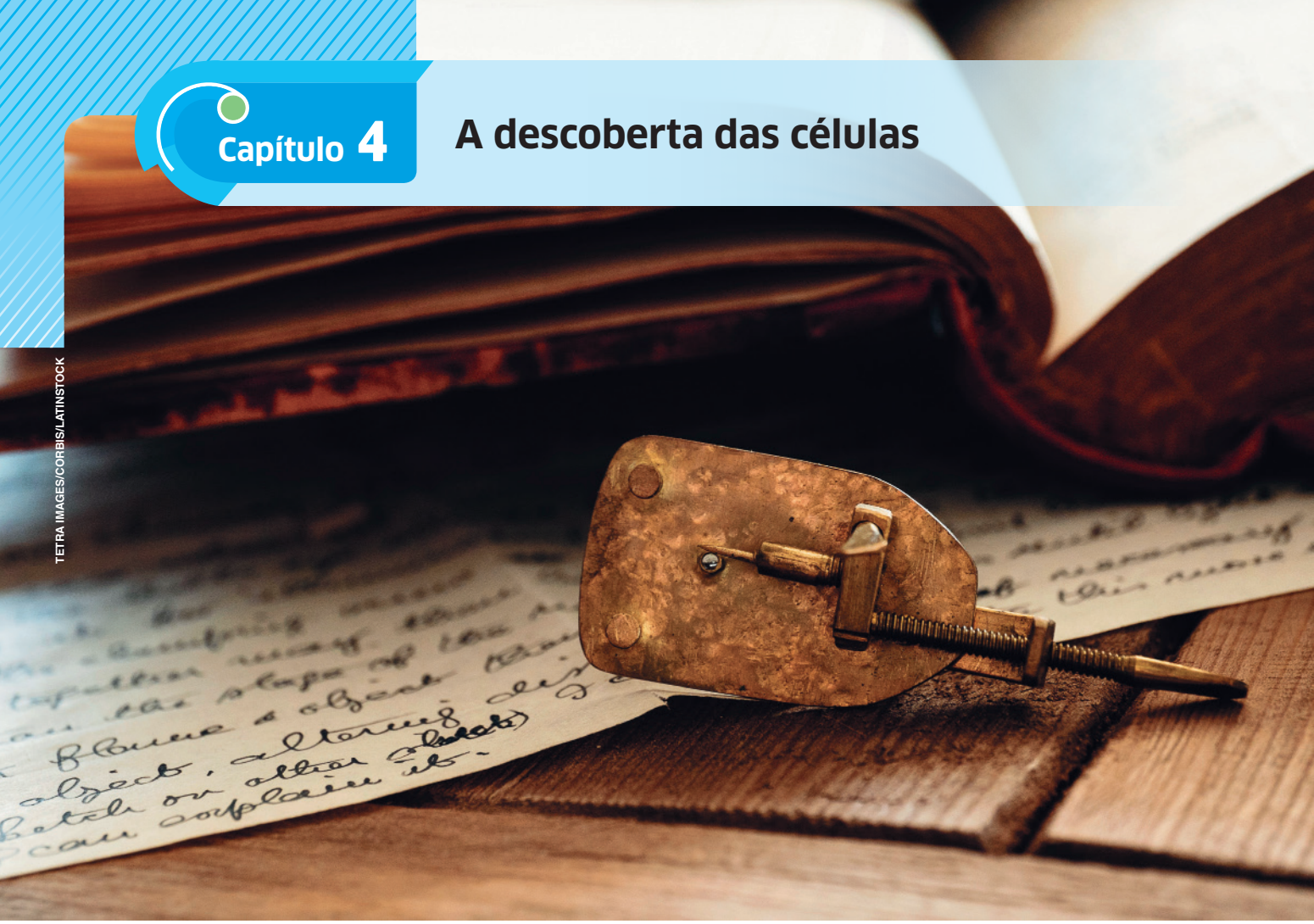
Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

Itens principais:

- Organização do núcleo interfásico
- Características gerais dos cromossomos
- Dividir para multiplicar: a divisão celular
- Cromossomos em ação: duplicação e transcrição gênicas
- O mecanismo da síntese de proteínas: tradução gênica

Imagem de corte de célula muscular do coração humano. Graças às técnicas modernas de microscopia, podemos observar diversas estruturas que, antigamente, não eram sequer imaginadas. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 20.000×; cores artificiais.)

Capítulo 4 A descoberta das células



TETRA IMAGES/CORBIS/LATINSTOCK

Microscópio desenvolvido por Antonie van Leeuwenhoek. Esse estudioso foi o primeiro a usar a microscopia para observar materiais biológicos. Desde então, o mundo microscópico vem sendo modelado cada vez com mais detalhes pelas descobertas dos cientistas e pelo desenvolvimento de novos e mais potentes microscópios.

De que são feitos os seres vivos?

Pense rápido numa resposta para a pergunta do título!

Diversas respostas podem ter lhe ocorrido. Por exemplo, os seres vivos são feitos de átomos. Embora um tanto genérica, essa é uma resposta correta; toda matéria, inclusive a matéria viva, é constituída por átomos, uma unidade que se repete (com variações) em todos os materiais da natureza.

Outra resposta correta seria: os seres vivos são feitos de moléculas. Essa resposta é menos genérica, mas, ainda assim, correta: muitos componentes do universo são constituídos por moléculas, resultantes da união química entre átomos. A água, por exemplo, compõe-se de moléculas de H_2O. O gás carbônico, de moléculas de CO_2. A matéria que constitui os seres vivos também se compõe de milhares de tipos de moléculas diferentes, entre elas a própria água. Entretanto, há moléculas encontradas somente nos seres vivos, como as proteínas e os ácidos nucleicos, já mencionados neste livro. Se você tivesse respondido que os seres vivos são feitos "de moléculas orgânicas", sua resposta, além de correta, levaria a uma boa discussão, como veremos adiante.

A resposta considerada mais adequada pela maioria dos biólogos seria: os seres vivos são constituídos por células. Se essa foi a sua resposta, parabéns! Entretanto, há um ponto polêmico a considerar: os vírus não são constituídos por células, embora sejam feitos de dois tipos de moléculas orgânicas características de todos os seres vivos: proteínas e ácidos nucleicos. Além disso, os vírus somente se reproduzem no interior de células vivas. E agora? Vírus são seres vivos? Ou não? Relembre essas questões no capítulo 1.

Só mais uma pergunta: em sua opinião, a célula foi "descoberta" em 1665, quando Hooke visualizou pela primeira vez as cavidades da cortiça, ou quando Schleiden e Schwann propuseram a teoria celular, em 1838-1839? Pense nisso quando estudar o capítulo.

A importância do assunto

A invenção do microscópio foi uma condição necessária à descoberta das células vivas. O mundo microscópico intracelular foi desvendado, passo a passo, pelas descobertas e contribuições de muitos cientistas. Em 1665, Robert Hooke observou ao microscópio que a cortiça era porosa e denominou "célula" cada orifício microscópico do material. Logo essa denominação passou a ser empregada para designar o conteúdo fluido das cavidades constituintes das partes vivas das plantas. As cavidades da cortiça são, na verdade, células que morreram e perderam o conteúdo, restando apenas a parede celular.

Passou-se cerca de um século e meio até que o conceito de célula fizesse sentido para a Biologia: só no início do século XIX é que foi reconhecido que as células são os constituintes fundamentais dos seres vivos, surgindo, assim, a teoria celular.

Muitos dos segredos da vida só podem ser desvendados no plano microscópico e este capítulo é a porta de entrada para o mundo invisível a olho nu. Você verá que, para descobrir essa realidade, os cientistas têm recorrido a diversos instrumentos e ferramentas. A mais importante de todas, certamente, é a imaginação.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4.1 A invenção do microscópio

A invenção do **microscópio**, instrumento capaz de ampliar imagens, possibilitou a descoberta das células, as unidades microscópicas que constituem os seres vivos. Acredita-se que o primeiro microscópio tenha sido construído por volta de 1591 por Zacharias Janssen (1580-1638) e seu pai Hans, dois holandeses fabricantes de óculos. Entretanto, os primeiros registros de observações microscópicas de materiais biológicos foram realizados pelo comerciante holandês Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723).

Leeuwenhoek fabricou dezenas de microscópios dotados de uma só lente, feita de vidro e quase esférica, com os quais observou diversos materiais biológicos, como embriões de plantas, glóbulos vermelhos do sangue e espermatozoides de animais. Leeuwenhoek é considerado o descobridor dos "micróbios", denominação antiga dos seres microscópicos, hoje conhecidos como microrganismos. (Fig. 4.1)

Influenciado pelas descobertas de Leeuwenhoek, o físico inglês Robert Hooke (1635-1703) idealizou e construiu um microscópio com duas lentes de vidro ajustadas às extremidades de um tubo de metal. O observador olhava por uma lente, a **ocular**, enquanto aproximava do objeto a outra lente – a **objetiva** – até obter foco. Por apresentar duas lentes, o microscópio idealizado por Hooke é denominado **microscópio composto**, enquanto microscópios como aqueles feitos por Leeuwenhoek, dotados de uma só lente, são chamados de **microscópios simples**.

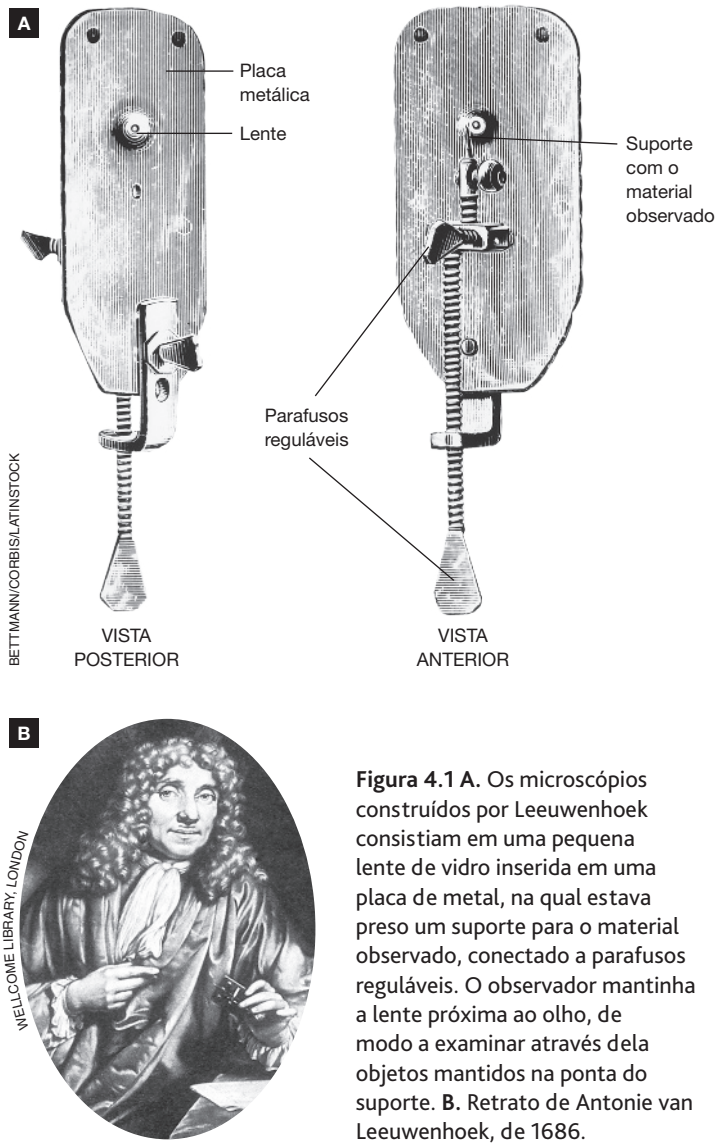


Figura 4.1 A. Os microscópios construídos por Leeuwenhoek consistiam em uma pequena lente de vidro inserida em uma placa de metal, na qual estava preso um suporte para o material observado, conectado a parafusos reguláveis. O observador mantinha a lente próxima ao olho, de modo a examinar através dela objetos mantidos na ponta do suporte. **B.** Retrato de Antonie van Leeuwenhoek, de 1686.

Um dos materiais inicialmente observados por Hooke foi a cortiça, extraída da casca de certas árvores e utilizada na fabricação de rolhas. Hooke verificou que esse material tinha baixa densidade por apresentar inúmeros poros microscópicos, por isso ele chamou de *cell* (do inglês, cela ou cavidade) cada buraquinho microscópico da cortiça. Assim surgiu o termo **célula**, diminutivo de cela, hoje consagrado para designar a unidade constituinte dos seres vivos. (Fig. 4.2)

Figura 4.2 A. Réplica do microscópio composto de Robert Hooke. **B.** Imagem da capa do livro *Micrographia* (1667), no qual Hooke descreve suas observações microscópicas. Esse livro contém o desenho das fatias de cortiça (em **C**), cujas cavidades foram denominadas células.

4.2 As partes fundamentais da célula

O interesse pelo mundo invisível levou muitos pesquisadores a investigar a constituição microscópica de grande variedade de plantas e de animais. Descobriu-se que partes internas e suculentas de plantas são formadas por cavidades semelhantes àquelas descritas por Hooke na cortiça, mas preenchidas por um fluido gelatinoso semitransparente. Logo se descobriu que os animais também são constituídos por bolsas gelatinosas semelhantes às das plantas, porém, sem o envoltório espesso característico das células vegetais.

A observação de células sob diversas condições levou os cientistas a concluir que células animais e vegetais deviam ser delimitadas por uma finíssima película, a **membrana plasmática**, invisível mesmo nos melhores microscópios ópticos. No caso das células vegetais, há ainda um envoltório externo mais espesso e bem visível, a **parede celular**.

Em 1833, o botânico escocês Robert Brown (1773-1858) verificou que a maioria das células, tanto as de animais como as de vegetais, tem em seu interior um corpo esférico ou ovoide, que ele denominou **núcleo**. O restante do fluido celular passou a ser chamado de **citoplasma**.

No século XIX, além dessas três partes fundamentais das células – membrana plasmática, citoplasma e núcleo –, descobriu-se que o citoplasma contém estruturas presumivelmente equivalentes a pequenos "órgãos" celulares, por isso denominadas **organelas** (ou orgânulos) celulares. No interior do núcleo das células foram observadas estruturas filamentosas, os **cromossomos**, e estruturas globosas, os **nucléolos**. (Fig. 4.3)

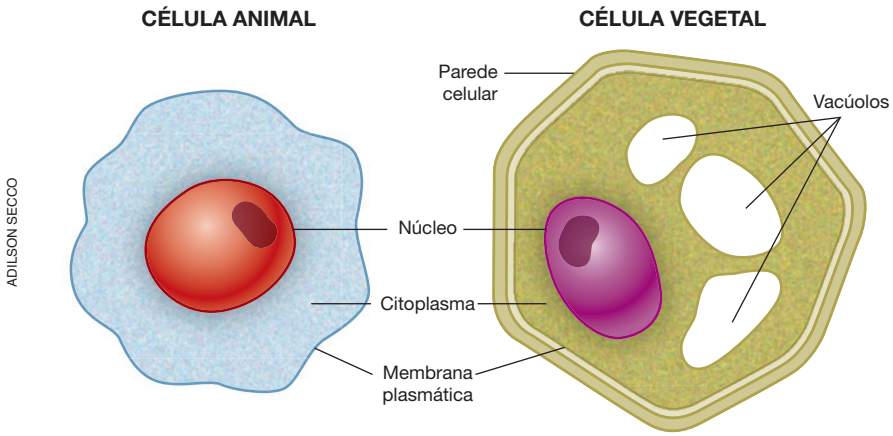


Figura 4.3 Esquemas de células animal e vegetal, na concepção dos citologistas do século XIX. Os vacúolos – bolsas contendo solução aquosa – são organelas típicas de células vegetais. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4.3 A teoria celular

Estimule os estudantes a responder à questão: "a célula foi 'descoberta' em 1665, quando Hooke visualizou pela primeira vez as cavidades da cortiça, ou quando Schleiden e Schwann propuseram a teoria celular, em 1838-1839?"

Em 1838, reunindo estudos próprios e de diversos outros pesquisadores sobre a estrutura celular dos vegetais, o botânico alemão Mathias Schleiden (1804-1881) lançou a ideia de que todas as plantas são constituídas por células. Em 1839, o zoólogo alemão Theodor Schwann (1810-1882) chegou à mesma conclusão para os animais. Começava a se estruturar, assim, a **teoria celular**, segundo a qual as células são as unidades constituintes de todos os seres vivos. (Fig. 4.4)

Figura 4.4 A. Retrato de Mathias Schleiden. **B.** Retrato de Theodor Schwann. Esses dois cientistas alemães propuseram a teoria celular.

As três premissas fundamentais da teoria celular, que se consolidou ao longo do século XIX, são:

1. Todos os seres vivos são formados por células e por estruturas que elas produzem; as células são, portanto, as **unidades morfológicas** dos seres vivos.
2. As atividades essenciais que caracterizam a vida ocorrem sempre no interior de células; elas são, assim, as **unidades funcionais** ou fisiológicas dos seres vivos.
3. Novas células formam-se apenas por meio da reprodução de células preexistentes, em um processo denominado **divisão celular**.

A formulação da teoria celular foi revolucionária para a Biologia. Pense um pouco: não é notável que seres tão distintos como uma ameba e uma pessoa sejam constituídos pelo mesmo "tijolo" básico, a célula? A ameba é **unicelular**, isto é, formada por uma única célula, enquanto os seres humanos são **multicelulares** (ou pluricelulares), constituídos por muitas células; uma pessoa adulta tem nada menos que 10 trilhões (10^{13}) de células!

A teoria celular é uma das mais importantes generalizações da Biologia. Ela propõe que os seres vivos, apesar das diferenças que apresentam, têm em comum o fato de serem constituídos por células. Isso sugere que há um parentesco evolutivo entre todos os seres vivos. E é no nível microscópico e molecular que esse parentesco se revela com toda a clareza. O médico alemão Rudolph Virchow (1821-1902) já apontava para a necessidade de se conhecerem as células para compreender o fenômeno vida.

A descoberta da célula e o desenvolvimento da teoria celular abriram um novo campo de estudo na área da Biologia: a **Citologia** (do grego *kytos*, célula, e *logos*, estudo), que se dedica à compreensão da estrutura e do funcionamento das células vivas.

4.4 O desenvolvimento da Citologia

A microscopia fotônica (óptica)

O avanço da microscopia resultou tanto do interesse em estudar as células quanto do desenvolvimento paralelo da indústria óptica. Entre os séculos XIX e XX, o microscópio óptico, mais recentemente denominado **microscópio fotônico** (do grego *photos*, luz), chegava próximo aos limites de ampliação e de qualidade óptica dos microscópios da atualidade.

Os microscópios fotônicos modernos apresentam três conjuntos principais de lentes fabricadas em vidro ou cristal. Um desses conjuntos é o **condensador**, cujas lentes têm a função de concentrar os raios luminosos que vão atravessar o objeto observado. Outro conjunto compõe as **lentes objetivas**, responsáveis pela formação da imagem. O terceiro conjunto é o das **lentes oculares**, pelas quais o observador olha o objeto.

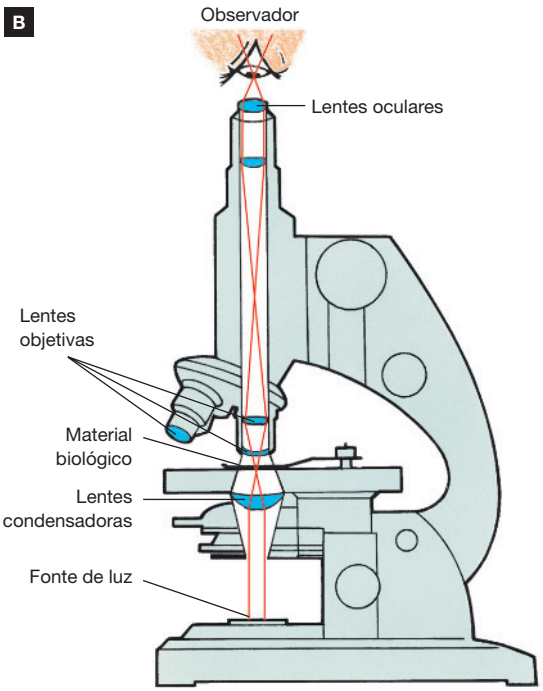
A luz é concentrada pelas lentes condensadoras e transmitida através do objeto; passa, então, pelas lentes da objetiva e da ocular e chega ao olho do observador, que vê a imagem ampliada do objeto. A partir da multiplicação entre o aumento fornecido pela objetiva e o aumento da ocular, calcula-se o valor final da ampliação. Se empregarmos, por exemplo, uma objetiva de 50 vezes e uma ocular de 10 vezes, o valor final da ampliação será de 500 vezes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os microscópios fotônicos modernos apresentam aumentos médios entre 100 e 1.500 vezes. Dessa forma, um objeto de 0,01 mm de diâmetro, invisível a olho nu, ao ter sua imagem ampliada 1.000 vezes, pode ser visualizado como se tivesse 1 cm. (Fig. 4.5)

Considere a possibilidade de integrar o estudo do capítulo com a disciplina de Física, enriquecendo a apresentação de conceitos de óptica, como ampliação e resolução de imagens.

COMPASSIONATE EYE FOUNDATION/TOM GRILL/GETTY IMAGES



ADILSON SECCO

Figura 4.5 A. Cientista observando material em um microscópio fotônico moderno. **B.** Representação esquemática das partes fundamentais de um microscópio fotônico, mostrando o caminho percorrido pela luz (em vermelho) no interior do aparelho. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

A qualidade dos microscópios

OSNEI ROCHA

O colorido de um desenho é formado apenas por pequenos pontos pretos, amarelos, vermelhos-magenta e azuis-ciano. Como esses pontos são muito pequenos, eles se misturam aos nossos olhos, dando a sensação perfeita de colorido.

Quando observamos fotos coloridas impressas com uma lente de aumento, percebemos que as imagens são compostas de pequenos pontos de três cores primárias (amarela, azul e vermelha), além de pontinhos pretos. Como esses pontos são muito pequenos e próximos, a olho nu "misturamos" suas cores e temos a sensação visual das diversas cores secundárias das fotos.

Por exemplo, a área verde-escura de uma foto é formada predominantemente por pontinhos azuis, amarelos e pretos quando observada com uma lente de aumento. A lente "resolve" os pontos da imagem, o que nos permite vê-los como pontos separados. O termo "resolver" vem do latim e significa "separar".

A olho nu conseguimos resolver, isto é, distinguir, pontos que estejam até um décimo de milímetro (0,1 mm) de distância um do outro. Pontos mais próximos que essa distância limite são vistos sem distinção. Portanto, o **limite de resolução** do olho humano "desarmado" é da ordem de 0,1 mm. Essa é a menor distância entre dois pontos em que eles ainda são percebidos como pontos separados a olho nu.

As lentes, no processo de formação da imagem, aumentam a capacidade do olho em distinguir pontos muito próximos. A qualidade de um microscópio fotônico depende, em grande parte, da qualidade óptica das lentes, responsável por imagens nítidas e bem detalhadas, com alto **poder de resolução** e, consequentemente, limite de resolução baixo. (Fig. 4.6)

Figura 4.6 Reprodução de página do livro infantil *O mistério da fábrica de livros*, de Pedro Bandeira (São Paulo: Moderna, 2010). Um dos "mistérios" revelados no livro é a maneira pela qual são produzidas as cores das ilustrações: é a incapacidade dos nossos olhos de distinguir os pontos coloridos que causa a sensação de mistura de cores.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Microscópios fotônicos de boa qualidade têm limite de resolução em torno de 0,00025 mm, ou seja, permitem distinguir pontos separados por até essa distância. Assim, o limite de resolução desses microscópios é cerca de 400 vezes menor que o do olho nu (0,1 mm ÷ 0,00025 mm = 400). Isso significa que o microscópio fotônico pode aumentar o poder de resolução do olho humano cerca de 400 vezes.

Quando trabalhamos com dimensões do mundo microscópico, utilizamos unidades de medida menores que as normalmente presentes em nosso cotidiano. Uma delas é o **micrômetro (μm)**, correspondente à milionésima parte do metro. Com essa unidade, as grandezas mencionadas no parágrafo anterior seriam: 100 μm ÷ 0,25 μm = 400. Para dimensões ainda menores, costuma-se usar o **nanômetro (nm)**, que corresponde a um milésimo do micrômetro (10^{-3} μm ou 10^{-6} mm ou 10^{-9} m). Os físicos e os químicos também utilizam o **angstrom (Å)**, 10 vezes menor que o nanômetro e que corresponde a 10^{-10} m.

Preparação de materiais para observação microscópica

Paralelamente ao desenvolvimento dos microscópios, os citologistas criaram novas metodologias para o preparo do material biológico, de modo a obter a máxima qualidade possível nas observações microscópicas.

Em primeiro lugar, é preciso cortar o material biológico em fatias finíssimas, pois a formação de imagens nos microscópios fotônicos demanda que a luz atravesse o objeto observado.

Alguns tecidos vegetais permitem obter cortes manuais de espessura razoável, feitos com navalhas ou lâminas de barbear. Entretanto, a maioria dos materiais vegetais e animais tem de ser previamente tratada e endurecida antes de ser cortada em aparelhos especiais – os micrótomos –, que permitem a obtenção de fatias finas o suficiente para a observação.

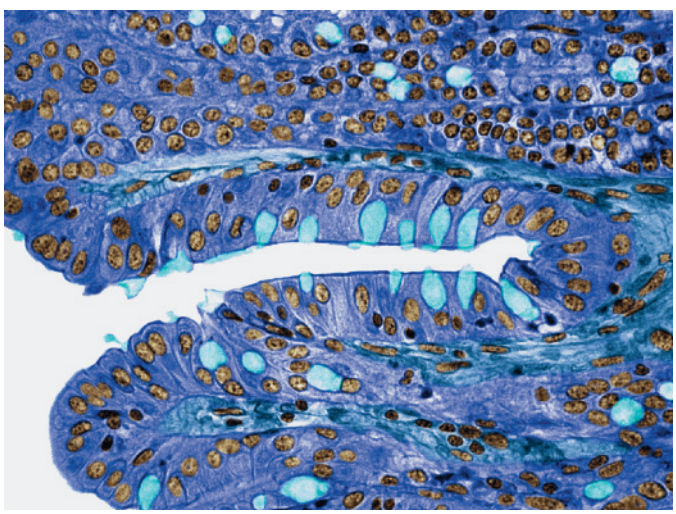
Os tratamentos dos materiais biológicos consistem, inicialmente, em imergi-los em soluções de certas substâncias, denominadas **fixadores** (álcool, formaldeído, ácido pícrico etc.), que matam rapidamente as células, mas conservam sua estrutura com poucas alterações.

O tecido fixado é então colocado em um recipiente que contém parafina derretida pelo calor. Depois que esfria e endurece, a parafina forma um bloco sólido, que é tirado do recipiente. No interior desse bloco de parafina encontra-se o material biológico; por isso, o método é chamado **inclusão em parafina**. Em seguida, o bloco é cortado em fatias bem finas pela lâmina de aço do micrótomo.

As finas fatias de tecidos fixados, chamadas **cortes histológicos**, precisam ainda passar por outros tratamentos antes da observação. Em geral, as estruturas celulares apresentam pouco contraste óptico. Para aumentá-lo, os citologistas utilizam **corantes**, substâncias capazes de colorir diferencialmente as estruturas celulares. Por exemplo, uma solução diluída de carmim, corante extraído de um inseto conhecido como cochonilha-do-carmim (*Coccus cacti*), colore intensamente o núcleo das células, mas não o citoplasma; a hematoxilina, corante extraído do tronco de uma árvore, o campeche (*Haematoxylon campechianum*), também colore o núcleo celular. (Fig. 4.7)

Na segunda metade do século XIX, anilinas empregadas na indústria têxtil mostraram-se úteis para colorir partes específicas das células. Uma delas, a eosina, revelou grande afinidade por proteínas citoplasmáticas.

O emprego de corantes possibilitou a descoberta de diversas estruturas celulares. Entretanto, as limitações do microscópio fotônico impediam que os citologistas visualizassem detalhadamente o intrincado meio intracelular. Isso só veio a ocorrer com a invenção dos microscópios eletrônicos, como veremos na sequência.



STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 4.7 Alguns corantes permitem observar partes específicas das células devido à sua afinidade por determinadas estruturas. Na imagem, fotomicrografia de células de intestino delgado, com o epitélio externo em azul mais escuro e células secretoras de muco em azul-claro. Os núcleos celulares estão corados em marrom-claro. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 240×; cores artificiais.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Amplie seus conhecimentos

Técnicas em Citologia

A observação vital, o esfregaço, o esmagamento e a radioautografia são algumas técnicas em Citologia, além da inclusão e do corte.

Observação vital

Se houver laboratório e instrumentos de microscopia na escola, propomos a realização de uma prática, que pode, por exemplo, ser a observação vital dos tricomas estaminais da trapoeraba-roxa proposta neste quadro.

Uma técnica citológica relativamente simples é a **observação vital**, também conhecida como **exame a fresco**. O material biológico vivo é colocado entre a lâmina e a lamínula e observado. Esse tipo de exame é utilizado, por exemplo, para observar células vegetais vivas.

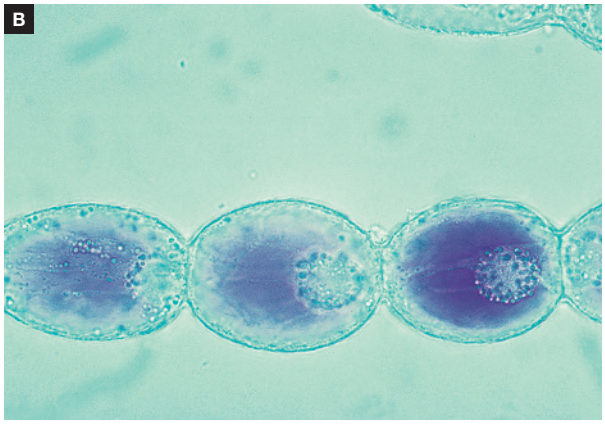
Nos exames a fresco também é possível utilizar alguns corantes especiais, chamados **corantes vitais**, que penetram na célula e evidenciam suas estruturas sem matá-la. Exemplos de corantes vitais são o azul de metileno e o verde janus; este último tem grande especificidade pelas estruturas citoplasmáticas denominadas mitocôndrias.

Esfregaço

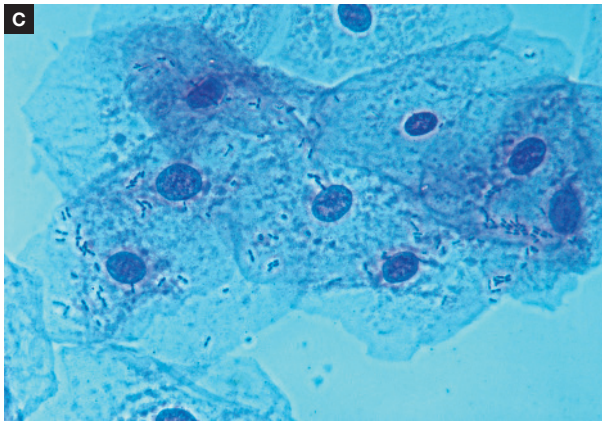
Se o material biológico é constituído por células isoladas ou pouco unidas entre si, pode-se simplesmente espalhá-lo sobre a lâmina de vidro, processo conhecido por **esfregaço**. Por exemplo, para preparar lâminas de amostra de sangue, pinga-se uma gota dele sobre a lâmina e espalha-se bem, de modo a formar uma camada fina. Isso evita que as células fiquem sobrepostas e permite visualizá-las isoladamente.

A técnica de esfregaço pode também ser utilizada para observar células de revestimentos mucosos, as quais se soltam com certa facilidade. Por exemplo, para obter células do revestimento interno da boca, raspa-se levemente a superfície da mucosa bucal com um instrumento adequado, espalhando as células coletadas sobre uma lâmina de microscopia, de modo a obter o esfregaço.

JASON EDWARDS/NATIONAL GEOGRAPHIC/GETTY IMAGES



ARQUIVO DO AUTOR



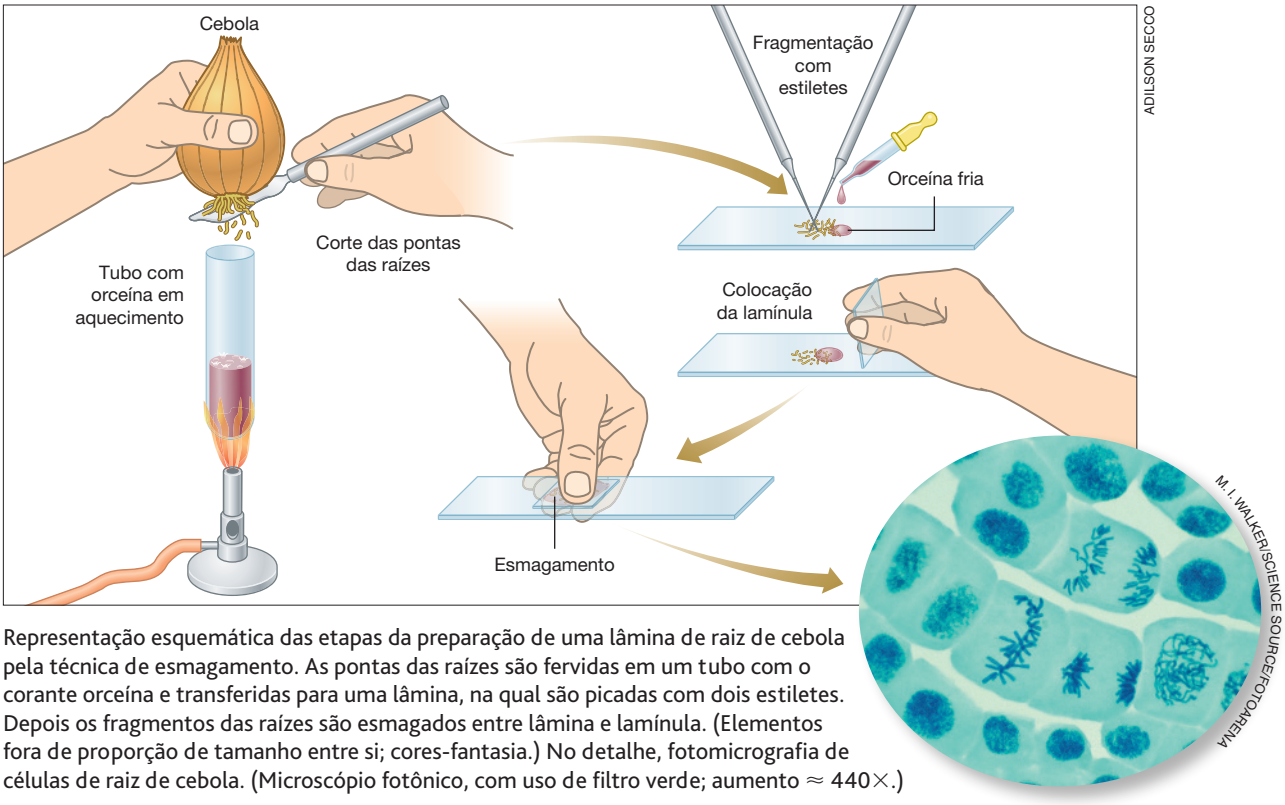
MICHAEL ABBEY/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

A. Macrofotografia de uma flor de trapoeraba-roxa (*Tradescantia pallida*), mostrando os tricomas (pelos) estaminais (setas), estruturas utilizadas para análise de células. A flor mede cerca de 4 cm de diâmetro. **B.** Fotomicrografia de exame a fresco de células do tricoma estaminal de *Tradescantia pallida*. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 270×.) **C.** Células da mucosa bucal humana preparadas pelo método de esfregaço e coradas com hematoxilina e eosina. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 600×; cores artificiais.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esmagamento

No caso de células frouxamente associadas, como as de partes moles de tecidos animais ou vegetais, pode-se preparar o material por meio da técnica de **esmagamento**. O material, geralmente já fixado e corado, é colocado entre uma lâmina e uma lamínula de vidro e esmagado pela pressão suave do dedo polegar. Em alguns casos, o material pode ser aquecido previamente para fazer com que suas células se separem com mais facilidade.

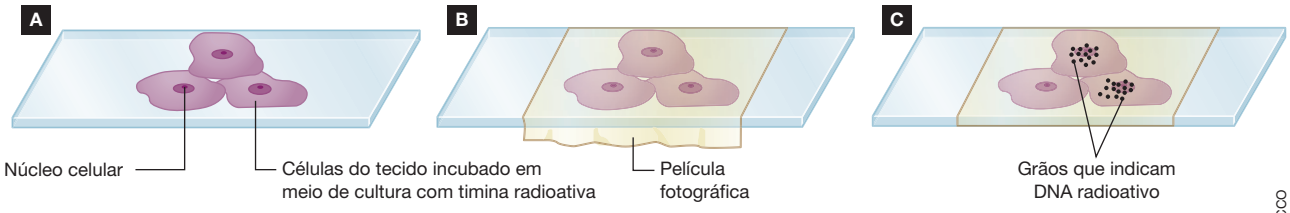


Representação esquemática das etapas da preparação de uma lâmina de raiz de cebola pela técnica de esmagamento. As pontas das raízes são fervidas em um tubo com o corante orceína e transferidas para uma lâmina, na qual são picadas com dois estiletes. Depois os fragmentos das raízes são esmagados entre lâmina e lamínula. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) No detalhe, fotomicrografia de células de raiz de cebola. (Microscópio fotônico, com uso de filtro verde; aumento ≈ 440×.)

Radioautografia

Para determinar em que células de um tecido uma dada substância está sendo sintetizada, pode-se utilizar uma técnica conhecida como **radioautografia**. Por exemplo, se desejarmos identificar em que células de um tecido está sendo sintetizado DNA, o tecido vivo é incubado em um meio de cultura contendo timina radioativa, um precursor de DNA. Após algum tempo, o tecido é fixado e preparado em lâminas para observação microscópica. Em um quarto totalmente escuro, as lâminas são recobertas com uma fina película fotográfica virgem e guardadas em caixas à prova de luz.

As células que contêm DNA radioativo – sintetizado durante a incubação na presença de timina radioativa – emitem radiação que impressiona a película fotográfica sobre a lâmina. Após alguns dias de exposição à radiação, executa-se a revelação fotográfica da lâmina com o filme aderido. Se forem observados grãos negros no filme revelado, isso indicará a presença de substâncias radioativas nas células situadas imediatamente abaixo.



Representação esquemática da técnica de radioautografia. A presença de grãos negros sobre o núcleo de determinadas células indica que neles ocorreu síntese de DNA durante a incubação do tecido no meio de cultura com o precursor radioativo. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

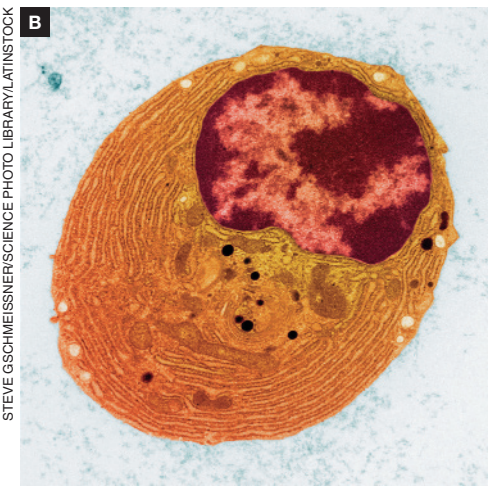
A microscopia eletrônica

O primeiro **microscópio eletrônico** foi construído no início da década de 1930, mas seu emprego no estudo das células começou mais tarde, na década de 1950. Nesse meio-tempo, os citologistas desenvolveram diversas técnicas de fixação, de coloração e de corte apropriadas para o microscópio eletrônico.

A microscopia eletrônica revolucionou a Citologia porque possibilitou estudos bastante detalhados da estrutura interna das células. Para se ter ideia, enquanto microscópios fotônicos fornecem aumentos máximos de 1.500 vezes, microscópios eletrônicos operam com aumentos entre 5 mil e 100 mil vezes ou mais.

Além disso, o fato de os microscópios eletrônicos utilizarem feixes de elétrons, em vez de luz, possibilita obter baixos limites de resolução, bem menores que os dos microscópios fotônicos; enquanto nestes últimos o limite de resolução é de 0,25 μm, nos microscópios eletrônicos o limite é de 0,001 μm (1 nm). Fazendo os cálculos, concluímos que o limite de resolução do microscópio eletrônico é cerca de 250 vezes menor que o do microscópio fotônico; seu poder de resolução, portanto, é 250 vezes maior. Em relação ao olho nu, o poder de resolução do microscópio eletrônico é cerca de 100 mil vezes maior (100 μm $\div$ 0,001μm $=$ 100.000). (Fig. 4.8)

MAURO FERMARIELLO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 4.8 A. Cientista manipulando um microscópio eletrônico de transmissão. **B.** Fotomicrografia de corte de um linfócito. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento $\approx$ 4.500$\times$; cores artificiais.)

A visão que temos da arquitetura celular foi basicamente elaborada a partir de estudos em microscópios eletrônicos de transmissão. Nesses aparelhos se observa o material biológico cortado em finíssimas fatias entre 30 nm a 60 nm de espessura, o que equivale a cortar uma célula em aproximadamente 200 fatias. A microscopia eletrônica produz imagens em branco e preto e bidimensionais (2-D). Assim, para imaginar como são as células e as organelas em três dimensões (3-D), os citologistas tiveram (e ainda têm) de realizar um minucioso trabalho de reconstrução da tridimensionalidade celular a partir de cortes sequenciais em diferentes planos.

O pensamento e a imaginação, aliados às técnicas microscópicas e bioquímicas de investigação, são as principais ferramentas utilizadas nos estudos das células. Eles nos permitem "viajar" ao mundo microscópico e compor os modelos tridimensionais e funcionais da célula viva.

Os cenários celulares e eventos moleculares que estudaremos adiante não foram visualizados diretamente, tais como estão representados nos esquemas didáticos. Para construir os modelos de células os cientistas reúnem diversas evidências, imaginando cenários que não podem ser visualizados diretamente, mas que podem ser testados e validados por meio de experimentos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

É importante prestar atenção às escalas de tamanho de células, organelas e moléculas, principalmente ao observar representações e esquemas que modelam estruturas e processos. Por exemplo, se uma célula cúbica de 30 μm $\times$ 30 μm $\times$ 30 μm fosse ampliada 100.000 vezes, ela teria aproximadamente o tamanho de um quarto de uma casa (3 m $\times$ 3 m $\times$ 3 m). Qual seria, em escala, a espessura de sua membrana plasmática?

Vamos calcular: a espessura real da membrana situa-se em torno de 5 nm; com uma ampliação de 100.000 vezes, ela passaria a ter aproximadamente 0,5 mm de espessura. Pegue uma régua e visualize esse tamanho. Imagine agora aquele quarto de 27 metros cúbicos delimitado por uma película plástica transparente e flexível de 0,5 mm de espessura! Essa comparação nos dá uma ideia de como a membrana plasmática é fina.

As cores utilizadas nas ilustrações não correspondem à realidade, ou seja, são cores-fantasia, empregadas com o propósito didático de distinguir melhor as partes celulares. Em muitos casos, a própria fotografia obtida ao microscópio eletrônico é colorizada artificialmente. Procure sempre, nas legendas de fotografias e ilustrações, indicações sobre a escala e a coloração para poder interpretar corretamente as indicações dos mundos microscópico e nanoscópico.

4.5 Células procarióticas e eucarióticas

O microscópio eletrônico revelou a existência de dois tipos básicos de célula: procarióticas, típicas de bactérias e de arqueas, e eucarióticas, presentes em todos os demais seres vivos (protozoários, fungos, algas, plantas e animais). Organismos constituídos por células procarióticas são chamados procariontes e os que apresentam células eucarióticas, eucariontes.

Células procarióticas (do grego *protos*, primitivo, e *karyon*, núcleo) são mais simples que as eucarióticas; seu citoplasma não tem estruturas membranosas nem núcleo; o "cromossomo" bacteriano concentra-se em uma região da célula chamada nucleoide.

Células eucarióticas (do grego *eu*, verdadeiro, e *karyon*, núcleo) têm o citoplasma repleto de canais, bolsas e outras estruturas membranosas, sendo uma delas o núcleo, no qual se localizam os cromossomos.

A estrutura interna de células procarióticas e eucarióticas será estudada com mais detalhes nos próximos capítulos. (Fig. 4.9)

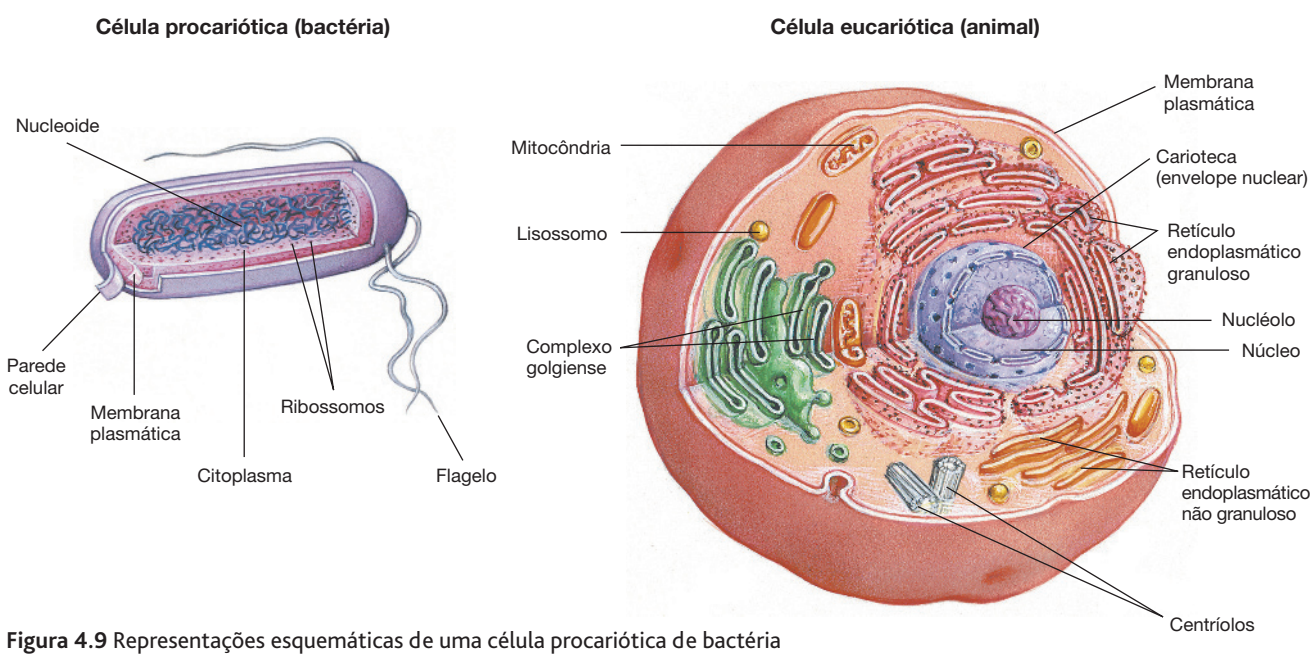


Figura 4.9 Representações esquemáticas de uma célula procariótica de bactéria (à esquerda) e de uma célula eucariótica animal (à direita). O tamanho da célula procariótica equivale ao de uma mitocôndria na célula animal. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 7.

a) coloração
b) corte histológico
c) fixação
d) inclusão
e) limite de resolução
f) micrótomo
g) poder de resolução

1. O aparelho com o qual se obtêm cortes finos para observação microscópica chama-se (▬). 1. f

2. O procedimento de matar as células rapidamente, de modo a causar pouca alteração estrutural e permitir sua observação ao microscópio, é conhecido como (▬). 2. c

3. A técnica de (▬) consiste em tingir diferencialmente as estruturas celulares com determinadas substâncias químicas, o que realça o contraste entre elas. 3. a

4. A técnica de (▬) consiste em retirar fatias muito finas do material biológico para observação ao microscópio. 4. b

5. A técnica de impregnar uma peça de material biológico com substâncias que a endurecem, como a parafina, permitindo a obtenção de finíssimas fatias, recebe o nome de (▬). 5. d

6. (▬) é a capacidade de um microscópio fornecer imagens nítidas e detalhadas da estrutura de objetos. 6. g

7. A menor distância entre dois pontos em que ainda é possível perceber a separação entre eles é chamada (▬). 7. e

Copie as frases 8 e 9 substituindo a tarja por um dos termos a seguir.

a) procariótica
b) eucariótica

8. A célula (▬) apresenta o citoplasma repleto de canais, bolsas e outras estruturas membranosas, uma das quais é o núcleo. 8. b

9. Uma célula sem núcleo e organelas membranosas no citoplasma, característica de bactérias e arqueas, é chamada (▬). 9. a

10. De acordo com a teoria celular, apesar das diferenças no nível macroscópico, todos os seres vivos são semelhantes em sua constituição fundamental, uma vez que 10. d

a) contêm moléculas orgânicas.
b) se originam de gametas.
c) são capazes de se reproduzir sexualmente.
d) são constituídos por células.

11. A membrana das células, pelo fato de ter cerca de 5 nm (0,000005 mm) de espessura, pode ser observada: 11. b

a) ao microscópio fotônico ou óptico.
b) ao microscópio eletrônico.
c) ao microscópio simples.
d) a olho nu

12. Em uma fotomicrografia obtida com um microscópio eletrônico, o núcleo de uma célula mediu 5,5 cm de diâmetro. Sabendo que a ampliação da imagem foi de 11.000 vezes, qual é o diâmetro real desse núcleo? 12. c

a) 5 cm.
b) 5 mm.
c) 5 μm ou 0,005 mm.
d) 5 nm ou 0,000005 mm.

13. "Um pesquisador estudou a célula de um organismo, verificando ausência de núcleo e de compartimentos membranosos. Com base nessas observações, ele concluiu que a célula é (1) e pertence a (2)." Qual é a alternativa que contém os termos que substituem corretamente os números na frase? 13. d

a) 1 = procariótica; 2 = um fungo.
b) 1 = eucariótica; 2 = um animal.
c) 1 = eucariótica; 2 = uma planta.
d) 1 = procariótica; 2 = uma bactéria.

Questão para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

14. Suponhamos que você tenha recebido uma fotografia de uma célula ampliada. Medidos com uma régua, os diâmetros da imagem da célula e de seu núcleo na fotografia eram, respectivamente, 17,5 cm e 4,25 cm. A ocular e a objetiva usadas no microscópio eram de, respectivamente, 10× e 40× de aumento. A ampliação fotográfica para o papel foi de 5×, além do que foi ampliado e registrado no negativo do filme. Quanto medem, em micrômetro, a célula e seu núcleo?

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

15. **Atividade prática: Poder de resolução**

A qualidade da imagem fornecida por um instrumento óptico depende, entre outros fatores, de seu poder de resolução, isto é, de sua capacidade de diferenciar dois pontos situados muito próximos um do outro. Quanto menor é a distância entre dois pontos que o instrumento distingue, maior será seu poder de detalhar a imagem.

Nesta atividade, vamos comparar o poder de resolução de alguns instrumentos ópticos. Para isso, você precisará de uma página de jornal ou revista com um retrato colorido de uma pessoa.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Além disso, tente obter diferentes instrumentos ópticos para observar a fotografia, como um par de óculos, desses usados para "vista cansada" (presbiopia), lupas de diversos tamanhos e, se possível, um microscópio.

Você vai testar o poder de resolução desses instrumentos utilizando-os para observar os pontos que compõem a fotografia. A impressão comercial costuma empregar três cores básicas (magenta, ciano e amarela), além de preto, impressas separadamente na forma de pequenos pontos. A olho nu, não distinguimos esses pontos porque eles estão muito próximos uns dos outros, a uma distância inferior à do limite de resolução do olho. Assim, nossa vista "mistura" as cores dos pontos, o que cria diferentes tonalidades.

Ao observar a fotografia com os diferentes instrumentos ópticos, procure identificar os pontos que compõem a imagem e, se possível, faça um registro fotográfico dessas observações. Todos os instrumentos utilizados permitiram distinguir os pontos da fotografia? Qual deles apresentou maior poder de resolução? Compare suas observações com as de seus colegas e elabore um pequeno relatório descrevendo o procedimento realizado e os resultados obtidos.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (UFPA) A descoberta da célula foi feita em 1665 por (▬▬). Em 1838 e 1839, (▬▬) e (▬▬), através de observações de estruturas de muitas plantas e animais, concluíram que os seres vivos são constituídos por células. Qual é a alternativa que completa corretamente as frases? 1. d

a) Hooke, Weismann, Schwann
b) Virchow, Schleiden, Schwann
c) Schleiden, Hooke, Schwann
d) Hooke, Schleiden, Schwann
e) Virchow, Weismann, Hooke

2. (Unifor-CE) A teoria celular, proposta por Schleiden e Schwann, afirmava que 2. e

a) toda célula provém de uma célula preexistente.
b) todas as células vivas têm núcleo individualizado.
c) há estreita relação entre a forma e a função nas células.
d) células embrionárias se multiplicam por mitose.
e) vegetais e animais são constituídos por células.

3. (Unifor-CE) Durante o processo de preparação de tecidos em cortes para estudo microscópico, uma das fases em que o tecido é endurecido, a fim de que possa ser cortado em fatias finíssimas, é denominada 3. c

a) fixação.
b) coloração.
c) inclusão.
d) montagem.

4. (UnB-DF) Quando se usa o microscópio, é importante saber de quanto o instrumento ampliou a imagem do objeto. Se, por exemplo, na ocular estiver marcado 5× e na objetiva 12×, a ampliação é de 4. c

a) 17 diâmetros (12× + 5×).
b) 7 diâmetros (12× − 5×).
c) 60 diâmetros (12× · 5×).
d) 2,4 diâmetros (12× ∶ 5×).

5. (Unigranrio-RJ) Os seres vivos, exceto um, são constituídos por unidades biológicas identificadas como células. As exceções são 5. b

a) as algas.
b) os vírus, considerados seres vivos pela maioria dos cientistas modernos.
c) os vermes.
d) as bactérias, ainda que consideradas seres vivos por uma minoria de pesquisadores.

6. (Vunesp) Os procariontes diferenciam-se dos eucariontes porque os primeiros, entre outras características, 6. b

a) não possuem material genético.
b) possuem material genético como os eucariontes, mas são anucleados.
c) possuem núcleo, mas o material genético encontra-se disperso no citoplasma.
d) possuem material genético disperso no núcleo, mas não em estruturas organizadas denominadas cromossomos.
e) possuem núcleo e material genético organizado nos cromossomos.

7. (Fatec-SP) A invenção do microscópio possibilitou várias descobertas e, graças ao surgimento dos microscópios eletrônicos, houve uma revolução no estudo das células. Esses equipamentos permitiram separar os seres vivos em procarióticos e eucarióticos, porque se descobriu que os primeiros, entre outras características, 7. b

a) possuem parede celular e cloroplastos.
b) possuem material genético disperso pelo citoplasma.
c) possuem núcleo organizado envolto por membrana nuclear.
d) não possuem núcleo e não têm material genético.
e) não possuem clorofila e não se reproduzem.

Questão discursiva

8. (Fuvest-SP)

a) Quais as diferenças existentes entre células procariontes e eucariontes quanto a núcleo e citoplasma?
b) Em que grupos de organismos são encontradas células procariontes?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 5 Membrana celular e citoplasma

EYE OF SCIENCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

A ciência conta com uma nova aliada: a nanotecnologia. O desenvolvimento de nanomateriais e de nanopartículas tem dado grande contribuição para a Medicina e a Ecologia, entre outras áreas do conhecimento. Técnicas de nanotecnologia têm sido usadas no tratamento de doenças e na preservação ambiental. Na imagem, fibras de algodão (estruturas alaranjadas) recobertas por nanopartículas que as protegem de água e sujeira. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento $\approx$ 15.600$\times$; cores artificiais.)

O mundo nanoscópico

Em 1981, trabalhando em Zurique, na Suíça, os físicos Heinrich Rohrer (1933-2013) e Gerd Binnig (1947-) desenvolveram os princípios de um novo e revolucionário aparelho: o microscópio de tunelamento por varredura. Com esse microscópio, é possível detectar o tamanho e a aparência tridimensional dos átomos. Pela invenção, a dupla de cientistas recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1986.

Para ter uma ideia do poder de ampliação do novo microscópio, seria como ampliar a imagem de uma bolinha de pingue-pongue ao tamanho da Terra. Você consegue calcular esse aumento? (Considere que o diâmetro da Terra é de aproximadamente 12.000 km e que o de uma bolinha de pingue-pongue é de 40 mm.)

Com a nova geração de microscópios, ultrapassamos os limites do mundo microscópico e chegamos ao mundo "nanoscópico", onde lidamos com objetos de poucos nanômetros de tamanho. Lembre-se de que 1 nanômetro equivale à bilionésima parte de 1 metro ($1\ nm = 10^{-9}\ m$).

Em uma memorável palestra proferida em 1959, o físico estadunidense Richard Feynman (1918-1988), Prêmio Nobel de Física em 1965, sugeriu que os cientistas dedicassem mais esforços ao mundo nanoscópico, realizando experimentos e intervenções no nível dos átomos e das moléculas. Alguns anos mais tarde, surgiu a nanotecnologia, que trabalha com a criação de aplicações tecnológicas em uma escala que vai de 1 nm a 100 nm, em média.

A nanotecnologia já tem diversas aplicações industriais e também parece promissora nas áreas da Biologia e da Medicina. Por exemplo, em meados dos anos 1990, o farmacologista estadunidense Volkmar Weissig descobriu que era possível produzir artificialmente pequenas bolsas membranosas de 50 nm de diâmetro capazes de levar DNA (e outras substâncias) diretamente às mitocôndrias, as organelas responsáveis pela produção de energia nas células vivas. Ele talvez tenha pensado: e daí? O que alguém poderia fazer com isso? Poucos anos depois, pesquisas começaram a relacionar diversas doenças humanas a distúrbios dessas organelas. Hoje, um dos desafios da pesquisa farmacológica é levar drogas terapêuticas diretamente às mitocôndrias celulares.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Com a evolução da microscopia, aliada às descobertas no campo da Bioquímica Celular, os cientistas podem "visualizar" a célula viva em um novo patamar: o nível nanoscópico. Essa visualização não é feita com os olhos, e sim com a mente. No nanoambiente há diversas estruturas – as organelas celulares – que criam condições para as interações moleculares necessárias à vida. Essas interações constituem o metabolismo, como vimos anteriormente.

Graças à nossa capacidade imaginativa, podemos nos transportar – como "nanobservadores" – para o interior da célula eucariótica, um intrincado labirinto de membranas no qual se deslocam partículas, fibras, túbulos, bolsas membranosas e moléculas de diversos tipos. Ao analisar a estrutura e a função de cada componente celular, compreendemos melhor por que o metabolismo é um conjunto de interações moleculares que se passa no interior da célula. Neste capítulo e no próximo, vamos explorar esse universo nanoscópico.

5.1 Construindo o modelo atual de célula

O conceito de célula como unidade básica da vida começou a ser construído a partir da década de 1840, quando foram aceitos os fundamentos da teoria celular.

A teoria celular parece-nos hoje tão óbvia que, às vezes, subestimamos sua importância para a Biologia. Pessoas, minhocas, cogumelos, alfaces e bactérias, por exemplo, são todos constituídos pelo mesmo "tijolo" biológico básico – a célula.

É verdade que há diferenças entre as células dos diversos organismos e também entre células de um mesmo organismo. As maiores diferenças são encontradas entre as bactérias, que apresentam célula procariótica, destituída de núcleo e de organelas membranosas, e os demais seres vivos, que têm células eucarióticas. A presença de plastos no citoplasma das células vegetais as diferencia das células animais. As células vegetais também são dotadas de uma parede celular, ausente nas células animais.

Apesar das diferenças, uma análise dos aspectos celulares essenciais mostra que todas as células eucarióticas partilham a mesma estrutura básica e funcionam de modo muito parecido. Neste e no próximo capítulo estudaremos justamente esses aspectos fundamentais da estrutura e do metabolismo dessas células. (Fig. 5.1)

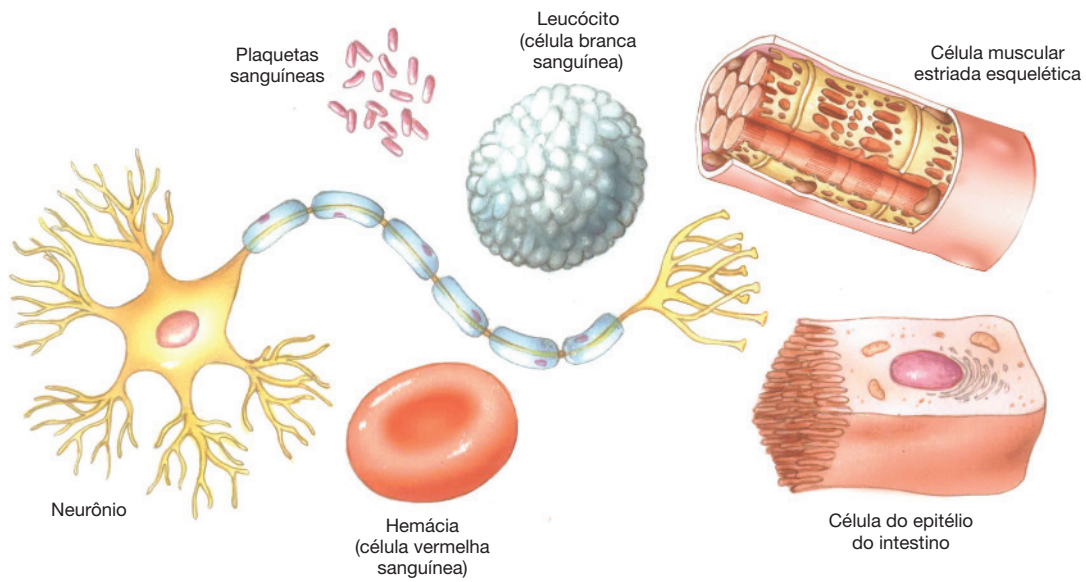


Figura 5.1 Representação esquemática de alguns tipos de célula ou fragmentos de célula, no caso das plaquetas sanguíneas. Um exame das características mais evidentes das células, como tamanho, forma, padrões de movimento etc., revela a grande diversidade de tipos celulares existentes em um mesmo organismo. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

JURANDIR RIBEIRO

A tridimensionalidade da célula viva

Quem já teve a oportunidade de observar cortes de células ao microscópio fotônico pode ter ficado um pouco decepcionado. O que se vê na lâmina de microscopia está bem distante das belas ilustrações coloridas e tridimensionais das células dos livros didáticos. Por quê?

Em primeiro lugar, essa diferença ocorre por limitações das técnicas e dos aparelhos de observação microscópica. Como vimos no capítulo anterior, antes de observar as células temos de matá-las e fixá-las, tentando preservar ao máximo suas estruturas. Em seguida, precisamos obter fatias celulares muito finas – os **cortes histológicos** – que permitam a passagem da luz através delas, nos microscópios fotônicos, ou de feixes eletrônicos, nos microscópios eletrônicos de transmissão. Em muitos casos, antes ou depois do corte, o material a ser observado passa por tratamentos com substâncias corantes, que aumentam os contrastes entre as partes celulares, permitindo distingui-las. Com tantos tratamentos e intervenções, não é de admirar que a reconstituição da imagem do que seria a célula viva e funcionante exija muita imaginação. (Fig. 5.2)

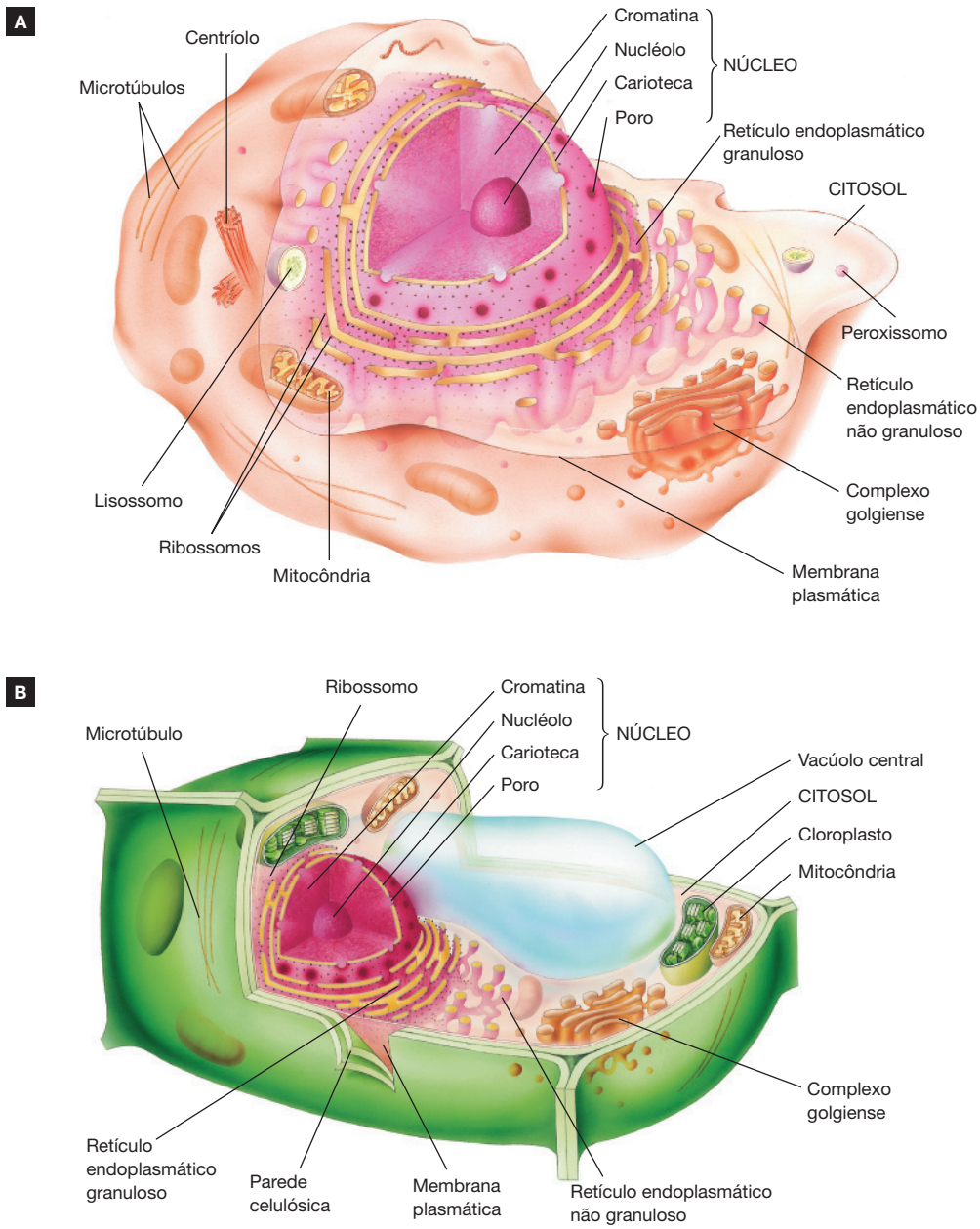


Figura 5.2 Representação esquemática de célula animal **(A)** e de célula vegetal **(B)** parcialmente cortadas para mostrar seus diversos componentes. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: EDILSON BILAS

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

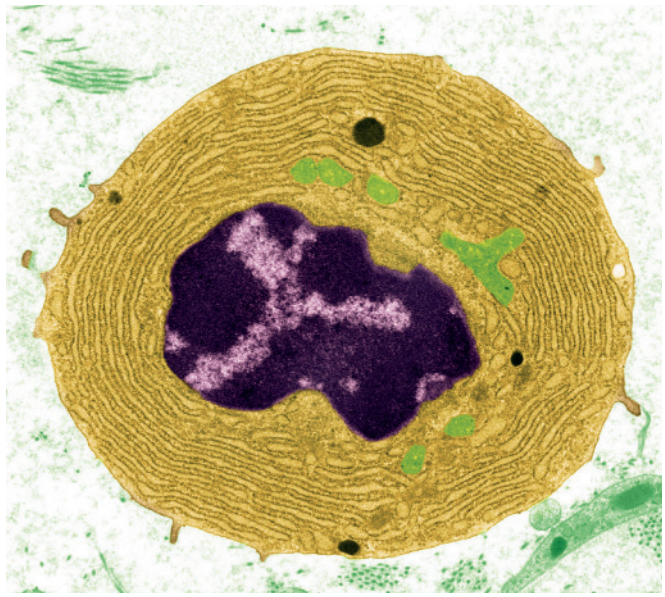
5.2 Características das membranas biológicas (biomembranas)

Em função do comportamento das células em diversas situações – inchar, murchar, estourar –, os primeiros citologistas logo perceberam que elas eram delimitadas por algum tipo de película muito fina, invisível até nos mais poderosos microscópios fotônicos modernos; essa película hipotética foi denominada **membrana plasmática**.

Com o progresso da microscopia eletrônica, a membrana plasmática foi finalmente visualizada. Nos cortes transversais observados ao microscópio eletrônico, ela aparece como duas linhas escuras entremeadas por uma região central mais clara, e sua espessura situa-se em torno de 5 nm.

A microscopia eletrônica e as análises bioquímicas revelaram também que o citoplasma de uma célula eucariótica é repleto de membranas, com espessura e composição química semelhantes às da membrana plasmática. Esse sistema membranoso citoplasmático forma um labirinto de tubos e bolsas, cercado por um fluido aquoso no qual há túbulos e filamentos proteicos finíssimos, além de partículas de diversos formatos e tamanhos.

Atualmente, o termo **biomembrana** designa tanto a membrana plasmática como as membranas que dividem o interior da célula em compartimentos. (Fig. 5.3)



STEVE GSCHMEISSNER/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 5.3 Fotomicrografia de um corte de um linfócito, mostrando o núcleo, em roxo, e a profusão de estruturas membranosas citoplasmáticas, em amarelo. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 4.300×; cores artificiais.)

Estrutura molecular das biomembranas

Análises bioquímicas de membranas celulares mostraram que seus principais componentes são fosfolipídios. As biomembranas das células animais apresentam ainda colesterol, um tipo de lipídio ausente em células vegetais.

As moléculas de fosfolipídios apresentam uma "cabeça" eletricamente carregada, representada pelo grupo fosfato, e duas "caudas" apolares, representadas pelo glicerídio. As cabeças eletricamente carregadas dos fosfolipídios tendem a atrair moléculas de água (que, como vimos, também têm cargas), sendo, por isso, denominadas hidrofílicas (do grego *hydro*, água, e *phylos*, amigo). As caudas, sem carga elétrica, tendem a repelir moléculas de água, sendo, por isso, denominadas hidrofóbicas (do grego *hydro*, água, e *phobos*, medo, aversão). (Relembre a fig. 3.11 na página 52.)

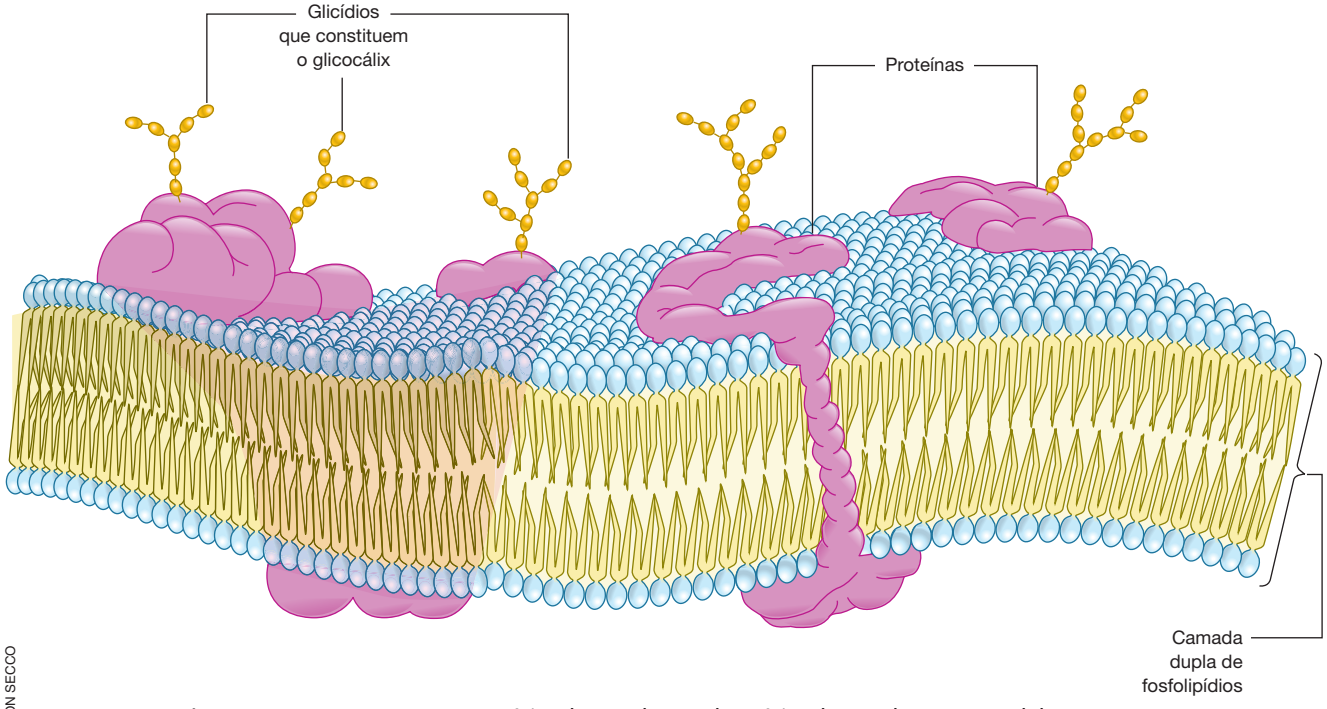
Em 1972, os pesquisadores estadunidenses Jonathan Singer (1924-) e Garth Nicolson (1943-), com base na constituição química e no comportamento das biomembranas, elaboraram um modelo molecular para explicar sua estrutura altamente dinâmica.

No modelo de Singer e Nicolson, as biomembranas seriam constituídas por uma camada dupla de moléculas de fosfolipídios bem compactadas. As cabeças dos fosfolipídios, eletricamente carregadas, estariam voltadas para as faces externas da membrana, em contato com a água sempre presente nas soluções internas e externas à célula. Com isso, "esconderiam" as caudas sem carga elétrica da água circundante, voltando-as para o interior da dupla camada molecular da membrana. Segundo o modelo, é essa estrutura em dupla camada que confere às membranas biológicas sua grande estabilidade e dinamismo. Embora se desloquem continuamente no plano da membrana, as moléculas de fosfolipídios nunca perdem o contato umas com as outras.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Estimule os estudantes a analisar detalhadamente as figuras desta e das próximas páginas, que mostram o modelo de organização da membrana e suas funções.

O modelo de Singer e Nicolson também supõe a presença de moléculas globulares de proteínas, incrustadas na bicamada de fosfolipídios, como se fossem peças de um mosaico. Algumas dessas proteínas encontram-se em posição superficial na dupla camada lipídica, enquanto outras a atravessam de lado a lado. A movimentação das proteínas na estrutura da biomembrana explica diversas funções importantes e levou Singer e Nicolson a denominar sua proposta como **modelo do mosaico fluido**. (Fig. 5.4)



ADILSON SECCO

Figura 5.4 Representação esquemática da membrana plasmática de acordo com o modelo do mosaico fluido. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Já foram identificadas dezenas de tipos de proteína nas membranas celulares. Algumas delas, voltadas para o exterior, estão ligadas a moléculas de glicídios, que formam uma espécie de malha filamentosa em torno da célula, denominada glicocálix. Outras formam poros, que permitem a passagem de moléculas de água e íons. Outras, ainda, capturam substâncias fora ou dentro da célula, transportando-as através da membrana e soltando-as do lado oposto. Além disso, determinadas proteínas presentes na membrana plasmática atuam no reconhecimento de fatores físicos e químicos do meio, estimulando a reação celular.

Biomembranas e a permeabilidade celular

A célula é um compartimento aquoso mergulhado em ambientes também aquosos; a separação entre os ambientes intracelular e extracelular é feita pela membrana plasmática.

As células de nosso corpo, por exemplo, com exceção daquelas presentes nas camadas mais externas da pele (que são células mortas), são banhadas por líquidos provenientes do sangue. Nas plantas a situação é semelhante. O tronco de uma árvore, por exemplo, é revestido externamente por células mortas (a casca), mas nas partes internas as células vivas estão em contato com soluções aquosas provenientes da seiva absorvida pelas raízes.

As células são altamente dependentes de ambientes aquosos porque as biomembranas somente conseguem manter sua organização molecular em contato direto com a água, como podemos deduzir do modelo de Singer e Nicolson.

A manutenção da vida depende do contínuo intercâmbio de substâncias entre o meio extracelular e o citoplasma através da membrana plasmática. A entrada e a saída de substâncias nas células constituem a **permeabilidade celular**, também conhecida como **permeabilidade seletiva**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

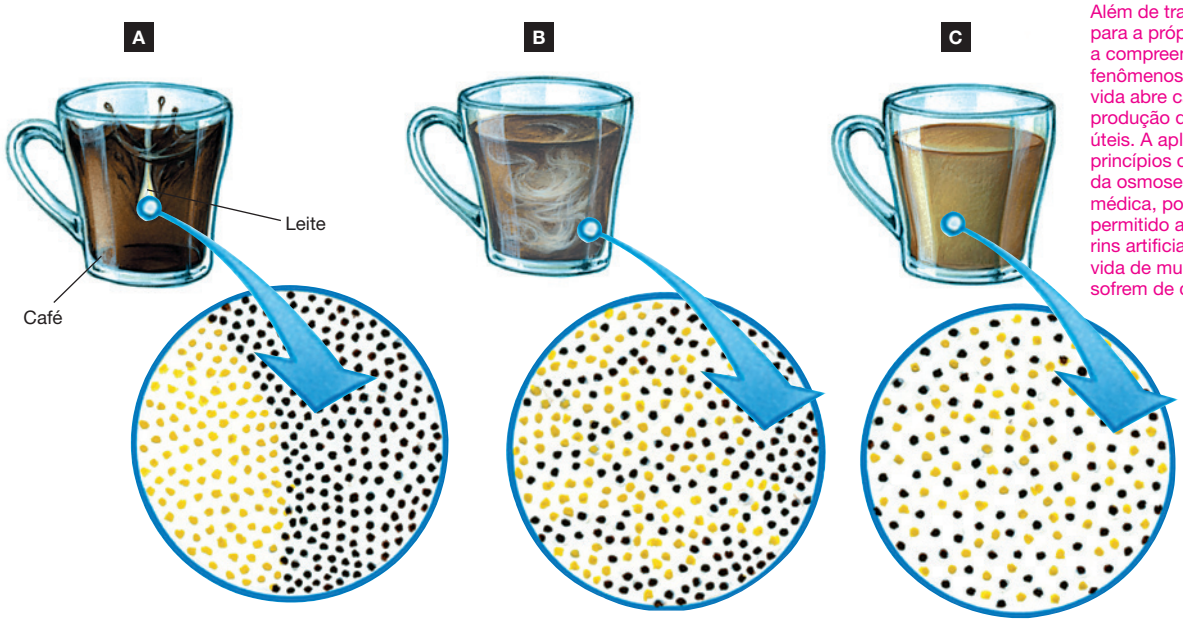
Certas substâncias atravessam a membrana plasmática espontaneamente, sem gasto de energia pela célula, o que se denomina transporte passivo. Outras substâncias, no entanto, precisam ser "bombeadas" para dentro ou para fora da célula em processos que consomem energia e, por isso, classificados como transporte ativo.

Transporte passivo: difusão e osmose

Difusão

Moléculas de água, certos tipos de íons e pequenas moléculas hidrossolúveis passam facilmente através de poros proteicos presentes na membrana celular sem que haja nenhum gasto de energia pela célula. Esse processo espontâneo de passagem, conhecido como **difusão**, depende apenas da diferença de concentração de moléculas ou íons difusíveis dentro e fora da célula.

Na difusão, o deslocamento de uma substância ocorre sempre em maior fluxo da região em que suas moléculas estão mais concentradas para a região em que a concentração é menor. Assim, se uma substância capaz de se difundir está mais concentrada fora da célula do que dentro, ela tende a entrar em maior quantidade do que sai, e vice-versa. (Fig. 5.5)



ILUSTRAÇÕES: CECÍLIA IWASHITA

Figura 5.5 Exemplo de difusão: **(A)** ao ser colocada em uma xícara de café, uma gota de leite contém apenas partículas de leite; **(B)** logo as partículas de café passam a invadir a gota de leite, enquanto partículas de leite invadem o espaço do café; **(C)** após algum tempo, não há mais diferença entre as concentrações de leite e de café em nenhum ponto da xícara. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Além de trazer progressos para a própria ciência, a compreensão de fenômenos básicos da vida abre caminhos para a produção de tecnologias úteis. A aplicação de princípios da difusão e da osmose à tecnologia médica, por exemplo, tem permitido a construção de rins artificiais, que salvam a vida de muitas pessoas que sofrem de doenças renais.

Osmose

O citoplasma é uma solução aquosa, ou seja, uma solução em que o solvente é a água. Moléculas solúveis em água presentes no citosol e nas bolsas citoplasmáticas (glicídios, proteínas, sais etc.) são os solutos celulares.

Quando uma célula é mergulhada em água pura, a concentração externa desse solvente é sempre maior que a encontrada no interior da célula, onde a água divide espaço com as moléculas de soluto. Consequentemente, a água tende a se difundir em maior quantidade para dentro da célula, fazendo-a inchar. As moléculas de água são capazes de atravessar a membrana com facilidade, o que não ocorre com a maioria dos solutos.

E se uma célula é colocada em um meio concentrado em solutos? A tendência é que ocorra maior difusão da água para fora da célula. Com isso, a célula murcha.

É importante enfatizar: na osmose, a difusão de água através da membrana semipermeável ocorre tanto da solução hipotônica para a hipertônica quanto no sentido inverso. A pressão de difusão da água, porém, é maior no sentido da solução hipotônica para a hipertônica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Esse fenômeno, em que há difusão de água através de uma membrana semipermeável que separa duas soluções com diferentes concentrações em solutos, é denominado **osmose**. **Membrana semipermeável** é aquela que deixa passar apenas (ou predominantemente) as moléculas de solvente, mas não as de soluto.

Na terminologia química, quando se comparam duas soluções quanto à concentração em solutos, diz-se que a mais concentrada é **hipertônica** (do grego *hyper*, superior) em relação à outra; e esta é **hipotônica** (do grego *hypo*, inferior) em relação à primeira. Duas soluções com concentrações equivalentes em solutos são chamadas **isotônicas** (do grego *iso*, igual, semelhante). (Fig. 5.6)

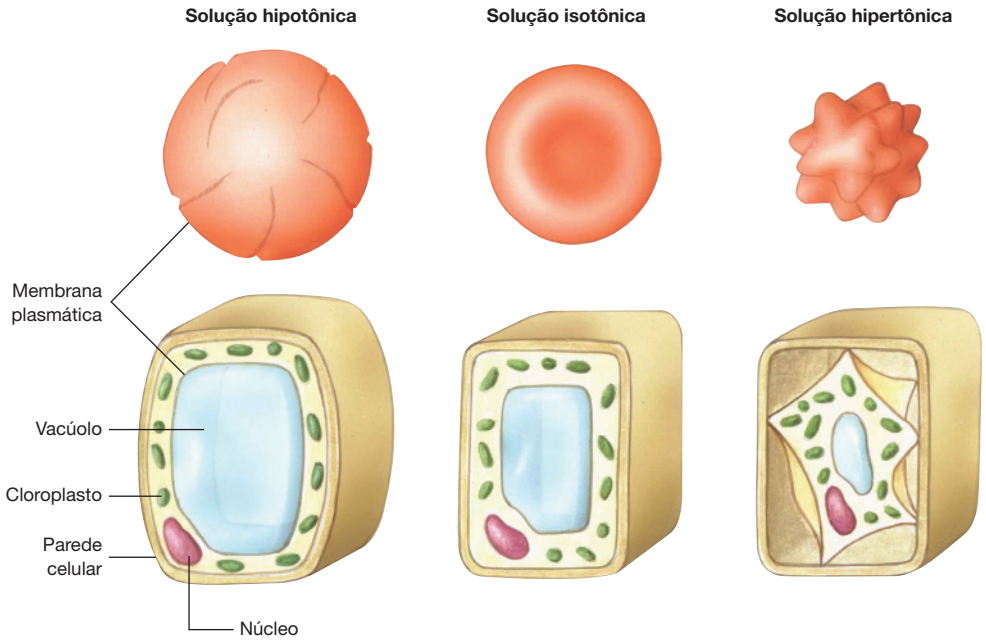


Figura 5.6 Comportamento de uma célula animal (em cima) e de uma célula vegetal (embaixo) em soluções de diferentes concentrações. Em solução isotônica (coluna central), não ocorre alteração de volume. Em solução hipertônica (coluna da direita), as células perdem água e murcham. Em células vegetais, o processo pode levar ao descolamento da membrana plasmática, o que é chamado de plasmólise. Em solução hipotônica (coluna da esquerda), as células absorvem água e incham, podendo se romper se não houver a proteção da parede celular. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Transporte ativo

Células humanas e de diversos organismos mantêm diferentes concentrações internas de íons e de outras substâncias em relação ao meio extracelular. O íon de potássio (K^+), por exemplo, mantém-se em alta concentração dentro de nossas células, enquanto a concentração intracelular do íon de sódio (Na^+) mantém-se bem inferior em relação ao meio extracelular.

A manutenção de diferenças iônicas entre a célula e o meio externo gera um potencial elétrico nas membranas celulares. É graças a esse potencial, por exemplo, que as células nervosas conseguem transmitir os impulsos nervosos.

De que maneira as células conseguem manter diferenciadas as concentrações iônicas em seu interior, se a tendência da difusão é igualar concentrações de substâncias difusíveis dentro e fora da célula? Isso se deve a mecanismos ativos de transporte realizado por proteínas da membrana plasmática, denominados genericamente **bombas iônicas**.

Uma bomba iônica bem estudada é a que transporta íons de Na^+ e de K^+, sendo, por isso, chamada **bomba de sódio-potássio**. Nesse processo, proteínas transportadoras presentes na membrana plasmática capturam íons de Na^+ no citoplasma, transportando-os para fora da célula. Na face externa da membrana, as proteínas transportadoras capturam íons de K^+ do meio extracelular, transportando-os para o citoplasma, e assim sucessivamente, de forma ininterrupta, compensando a difusão espontânea desses íons e mantendo suas concentrações diferenciadas dentro e fora da célula. (Fig. 5.7)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

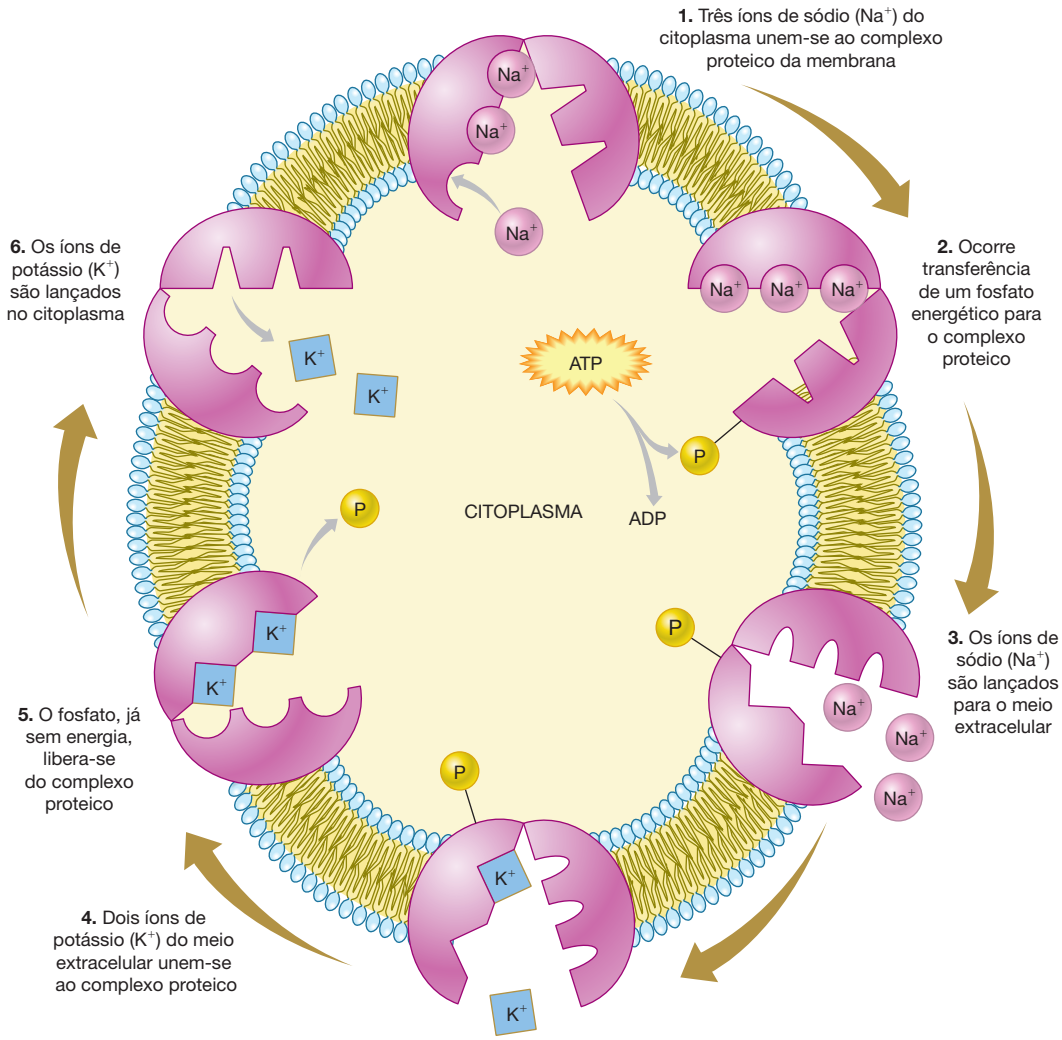


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 5.7 Representação esquemática do funcionamento da bomba de sódio-potássio, um processo de transporte ativo. Um complexo proteico incrustado na membrana plasmática transporta, em cada ciclo de atividade, três íons de sódio (Na^+) para fora da célula e dois íons de potássio (K^+) para o citoplasma. A energia para o processo provém das moléculas altamente energéticas do ATP, que transferem um fosfato energético (P) para o complexo proteico. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

Transporte em bolsas membranosas

Certas partículas e substâncias podem entrar ou sair da célula por meio de bolsas membranosas. Quando esse transporte ocorre para dentro da célula, fala-se em **endocitose** (do grego *endos*, dentro, e *kytos*, célula); quando bolsas membranosas citoplasmáticas se fundem à membrana plasmática e eliminam seu conteúdo para fora da célula, fala-se em **exocitose** (do grego *exos*, fora, e *kytos*, célula).

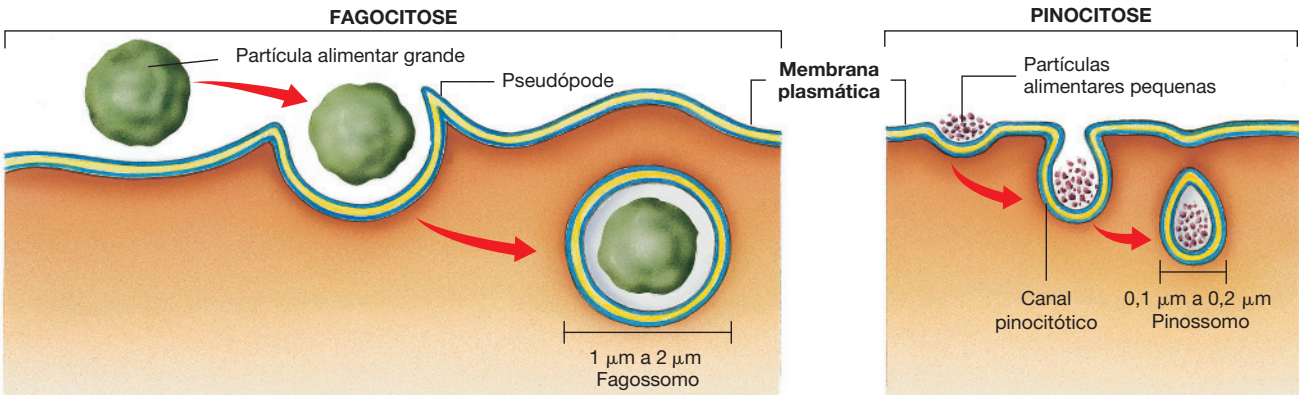
Endocitose: pinocitose e fagocitose

Um dos tipos de endocitose é a **pinocitose** (do grego *pinein*, beber, e *kytos*, célula), processo realizado por praticamente todos os tipos de célula e que permite capturar líquidos e pequenas partículas do meio externo. É pela pinocitose, por exemplo, que as células do revestimento interno do intestino capturam gotículas de lipídios do alimento digerido.

No processo de pinocitose, a membrana plasmática aprofunda-se no citoplasma e forma um canal que se estrangula nas bordas, liberando pequenas bolsas membranosas para o interior da célula. Essas bolsas membranosas que contêm o material englobado por pinocitose são os **pinossomos** (do grego *pinein*, beber, e *soma*, corpo).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outra forma de endocitose é a **fagocitose** (do grego *phagein*, comer, e *kytos*, célula). Nesse processo, a célula emite expansões citoplasmáticas denominadas **pseudópodes**, que envolvem partículas do meio externo e as englobam totalmente em uma bolsa membranosa. Essa bolsa se desprende da membrana e passa a circular livremente no citoplasma, recebendo o nome de **fagossomo** (do grego *phagein*, comer, e *soma*, corpo), termo que literalmente significa "corpo comido". Os protozoários, organismos unicelulares, utilizam o processo de fagocitose em sua alimentação. (Fig. 5.8)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 5.8 Representação esquemática de cortes na borda de uma célula, mostrando a fagocitose e a pinocitose. As principais diferenças entre os dois processos são o modo de captura e o tamanho das partículas capturadas. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Em animais pluricelulares, certas células realizam fagocitose para combater a invasão do corpo por microrganismos. Por exemplo, quando bactérias conseguem penetrar em nosso corpo, as primeiras linhas de defesa são certas células do sangue – os macrófagos e os neutrófilos – capazes de se "espremer" entre as células da parede dos capilares sanguíneos e sair da corrente sanguínea, em um processo chamado diapedese. Essas células se deslocam por meio de movimentos ameboides até o local da infecção, onde passam a fagocitar ativamente os invasores, digerindo-os em seu citoplasma, no interior de bolsas membranosas chamadas de vacúolos digestivos. (Fig. 5.9)

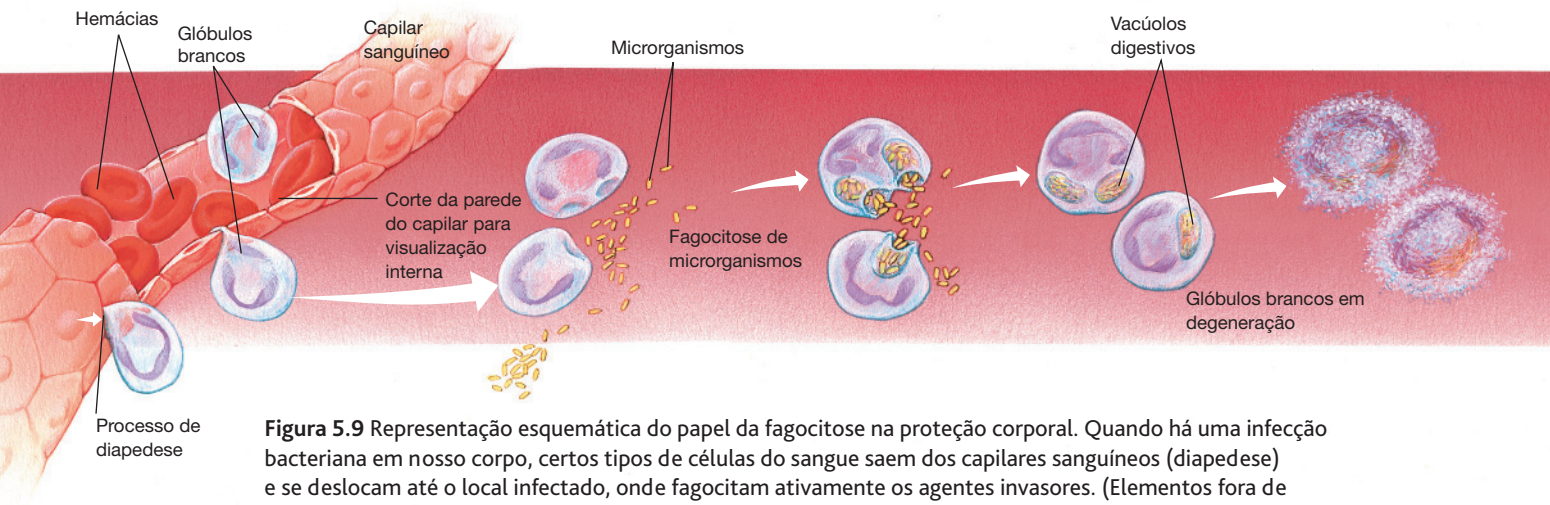


Figura 5.9 Representação esquemática do papel da fagocitose na proteção corporal. Quando há uma infecção bacteriana em nosso corpo, certos tipos de células do sangue saem dos capilares sanguíneos (diapedese) e se deslocam até o local infectado, onde fagocitam ativamente os agentes invasores. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Exocitose

Certas substâncias citoplasmáticas permanecem temporariamente armazenadas em bolsas membranosas antes de serem eliminadas para o meio externo. Em determinado momento, as bolsas aproximam-se da membrana plasmática e fundem-se a ela, eliminando seu conteúdo para fora da célula. Esse processo é denominado **exocitose**.

A exocitose é utilizada por certos tipos de células para eliminar restos da digestão intracelular. É também por esse processo que as células glandulares secretam seus produtos.

ILUSTRAÇÃO: CECÍLIA IWASHITA

5.3 Retículo endoplasmático

Este e os próximos tópicos apresentam diversos conceitos em grande nível de detalhamento. Uma sugestão para otimizar o tempo em sala de aula disponível para esses assuntos é incumbir os alunos de estudar atentamente, em casa, cada uma das organelas celulares.

Nas primeiras observações ao microscópio fotônico, a célula parecia ser preenchida por um fluido aparentemente homogêneo e viscoso, contido pela membrana plasmática. À medida que a Citologia foi se desenvolvendo, os cientistas descobriram, no interior das células, o núcleo e as regiões citoplasmáticas diferenciadas.

Os citologistas notaram, por exemplo, que algumas regiões citoplasmáticas coravam-se intensamente quando tratadas com certas substâncias, revelando que elas eram diferentes do restante do citoplasma. Como essas regiões eram particularmente abundantes em células de glândulas, os cientistas imaginaram que ali seria o local de produção das secreções.

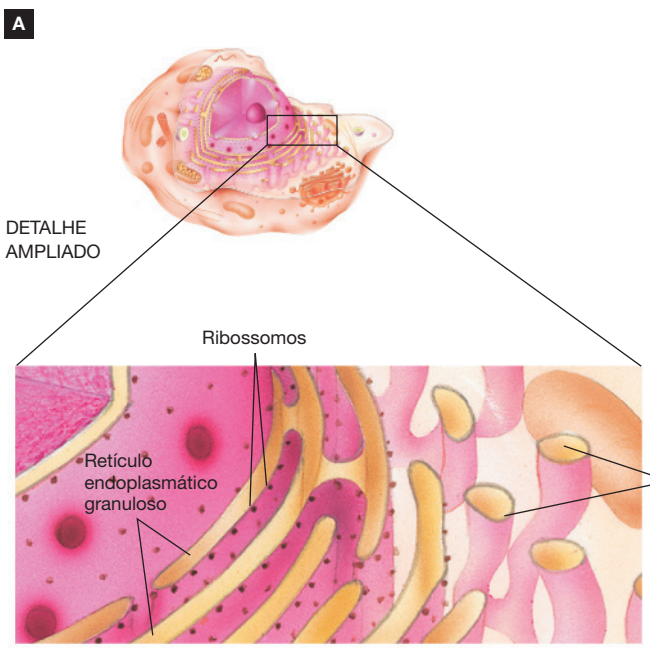
A microscopia eletrônica mostrou que certas estruturas identificadas no microscópio fotônico por suas afinidades por determinados corantes eram parte de um desenvolvido sistema: o **retículo endoplasmático**.

O **retículo endoplasmático**, presente em todos os tipos de células eucarióticas, é uma rede membranosa de bolsas achatadas e de canais tubulares interligados, cercados pelo **citosol**, a solução aquosa que preenche o citoplasma. Nas cavidades internas do retículo, circulam diversos tipos de moléculas.

Há dois tipos de retículo, um deles constituído por canais de membranas "lisas" – o **retículo endoplasmático não granuloso** ou **liso** – e outro em que a face da membrana voltada para o citosol tem aderidos grânulos chamados ribossomos, sendo, por isso, denominado **retículo endoplasmático granuloso** ou **rugoso**. O grau de desenvolvimento de cada tipo de retículo varia de acordo com as funções desempenhadas pela célula.

O retículo endoplasmático liso é responsável pela síntese de ácidos graxos, de fosfolipídios e de esteroides. A maioria das células apresenta pouco retículo endoplasmático liso; entretanto, esse tipo de retículo é abundante nas células do fígado que atuam sobre toxinas, álcool e outras drogas, inativando-as e facilitando sua eliminação.

O retículo endoplasmático rugoso tem por função principal a síntese de proteínas, que ocorre nos ribossomos aderidos à sua superfície externa. (Fig. 5.10)



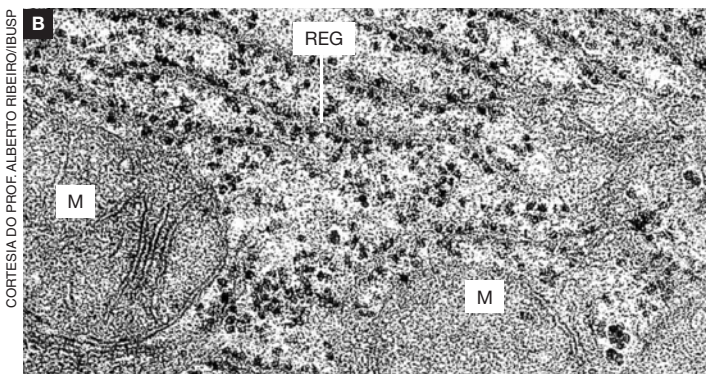


Figura 5.10 A. Representação tridimensional do retículo endoplasmático granuloso e do retículo endoplasmático não granuloso. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) **B.** Fotomicrografia de corte de célula animal mostrando retículo endoplasmático granuloso (REG) e mitocôndrias (M). (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 51.000×.)

Ribossomos são grânulos constituídos por moléculas de RNA associadas a proteínas. Os ribossomos medem cerca de 30 nm de diâmetro. Em uma célula imaginária que fosse ampliada 100 mil vezes, até o tamanho de um quarto de 3 m × 3 m × 3 m, um ribossomo teria a dimensão de um grão de pimenta-do-reino.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

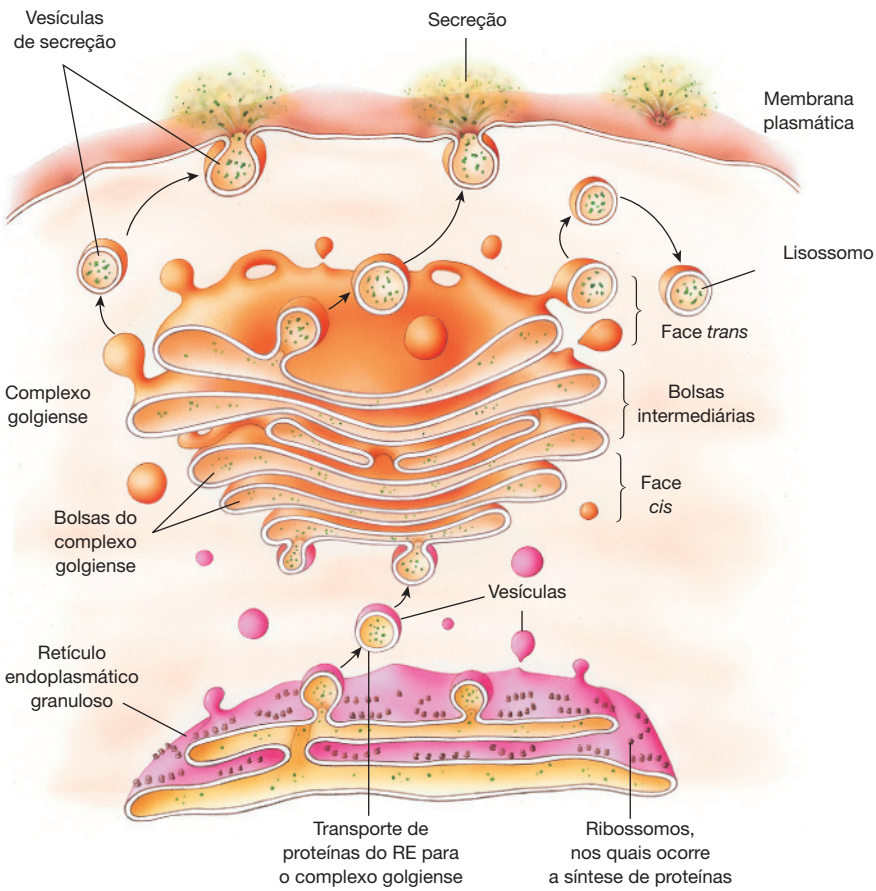
A síntese de qualquer proteína na célula inicia-se em ribossomos livres no citosol. Dependendo do tipo de proteína produzida, o ribossomo adere ou não à membrana do retículo endoplasmático. Ribossomos aderidos às membranas produzem proteínas para o interior das bolsas do retículo endoplasmático; essas proteínas são utilizadas na constituição das membranas celulares ou exportadas da célula na forma de secreções. Ribossomos que permanecem livres no citosol produzem proteínas utilizadas no interior da própria célula.

5.4 Complexo golgiense

Por volta de 1898, ao tratar cortes histológicos de tecido nervoso com corantes à base de sais de prata ou de ósmio, o médico italiano Camillo Golgi (1843-1926) notou que a coloração se concentrava em áreas celulares bem definidas e sugeriu a existência de uma estrutura subjacente no citoplasma. Mais tarde, a microscopia eletrônica comprovou a presença da estrutura celular sugerida por Golgi, que passou a ser chamada de aparelho de Golgi ou complexo de Golgi.

O **complexo de Golgi**, atualmente denominado **complexo golgiense**, é geralmente constituído por 6 a 20 bolsas membranosas achatadas e empilhadas. No interior dessas bolsas, proteínas provenientes do retículo endoplasmático granuloso são modificadas, selecionadas e "empacotadas" em bolsas membranosas. O destino dessas bolsas pode ser o próprio citoplasma, quando elas contêm proteínas da membrana ou enzimas para a digestão intracelular, ou o meio externo, se a vesícula contiver proteínas a serem secretadas. (Fig. 5.11)

É importante trabalhar a visão da célula como um microambiente tridimensional. Se no currículo da escola houver a disciplina de Arte, uma sugestão é conversar com o professor responsável por ela sobre a possibilidade de realizar um trabalho integrado e abordar o conceito de célula como um espaço tridimensional.



EDILSON BILAS

Figura 5.11 Representação esquemática da estrutura do complexo golgiense parcialmente cortado para mostrar sua organização. Note a face *cis*, pela qual proteínas provenientes do retículo endoplasmático (RE) penetram no complexo golgiense, e a face *trans*, pela qual as proteínas modificadas e "empacotadas" deixam o complexo. A ilustração mostra um instante congelado do processo; vesículas são continuamente liberadas pelo retículo e se fundem à face *cis* do complexo; as bolsas do complexo golgiense, por sua vez, liberam continuamente mais vesículas. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Lodish, H. e cols., 2005.)

Muitas das substâncias que passam pelo complexo golgiense saem da célula e atuam em diferentes locais do organismo. É o que ocorre, por exemplo, com enzimas produzidas e eliminadas pelas células do pâncreas e que atuam na digestão. Substâncias de natureza proteica, como certos hormônios e muco, também são "empacotadas" e "despachadas" para o meio extracelular pelo complexo golgiense. Nessa função, o complexo golgiense elimina substâncias celulares úteis ao organismo, processo denominado **secreção celular**. (Fig. 5.12)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

PAULO MANZI

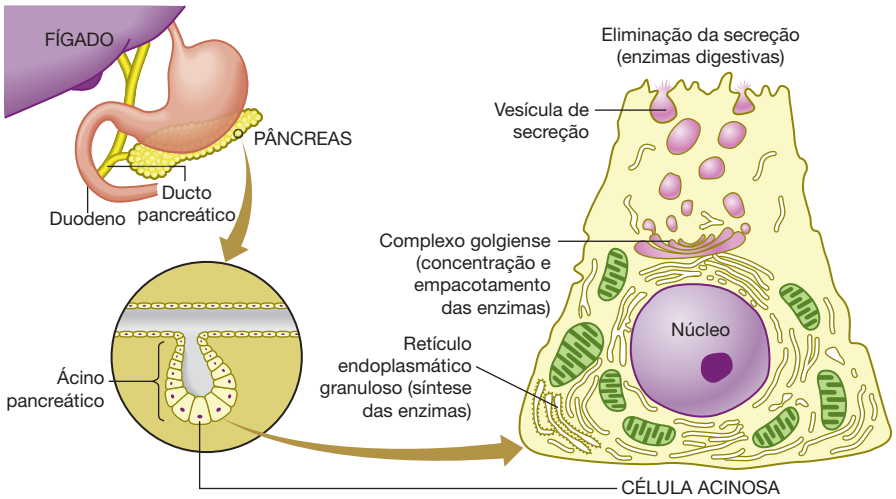
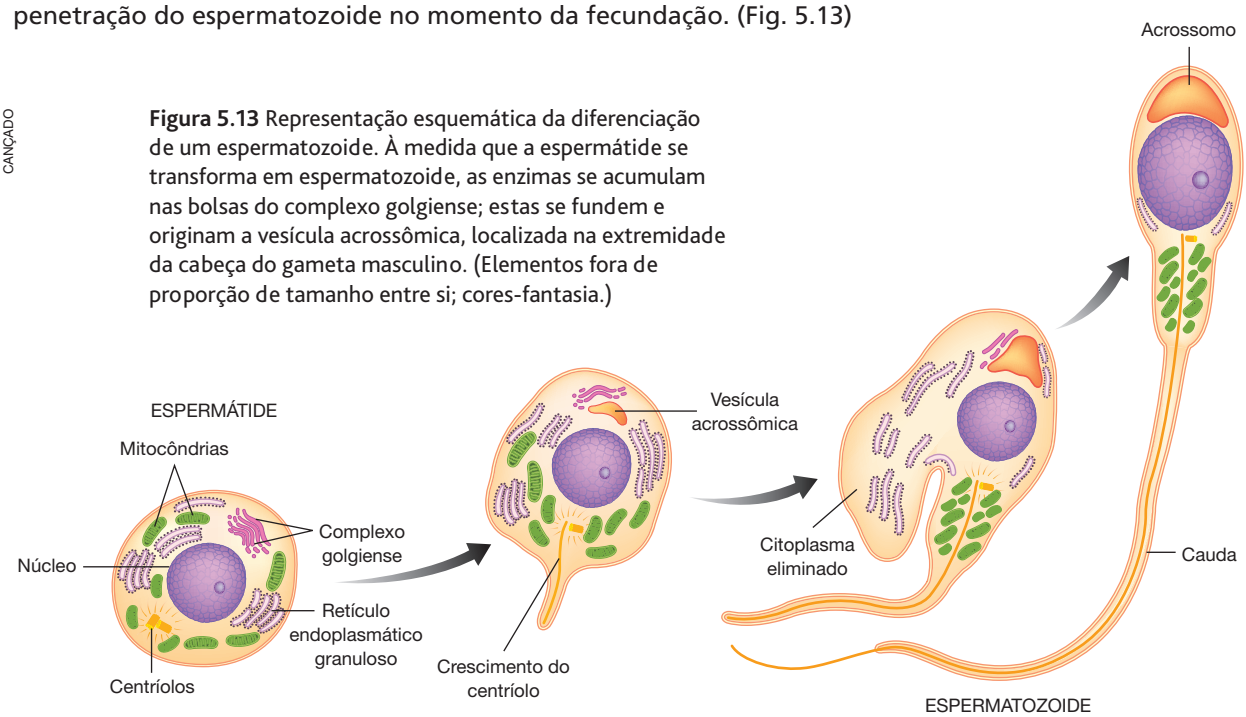


Figura 5.12 Representação esquemática da localização e da estrutura de uma célula secretora de enzimas digestivas do pâncreas (célula acinosa). O pâncreas contém inúmeras bolsas, denominadas ácinos pancreáticos, cujas paredes são constituídas por células acinosas. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

O complexo golgiense também desempenha papel importante na formação dos espermatozoides, dando origem ao **acrossomo** (do grego *acros*, topo, e *somatos*, corpo), uma grande bolsa repleta de enzimas digestivas que ocupa o topo da cabeça do gameta masculino. As enzimas acrossômicas têm por função perfurar as membranas que envolvem o gameta feminino, permitindo a penetração do espermatozoide no momento da fecundação. (Fig. 5.13)

CANÇADO

Figura 5.13 Representação esquemática da diferenciação de um espermatozoide. À medida que a espermátide se transforma em espermatozoide, as enzimas se acumulam nas bolsas do complexo golgiense; estas se fundem e originam a vesícula acrossômica, localizada na extremidade da cabeça do gameta masculino. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)



5.5 Lisossomos e digestão intracelular

Além do "empacotamento" e da "remessa" corretos das secreções celulares, outra importante função do complexo golgiense é a produção de **lisossomos** (do grego *lise*, quebra, e *somatos*, corpo), bolsas membranosas intracelulares que contêm enzimas capazes de digerir grande variedade de substâncias orgânicas. As enzimas lisossômicas são sintetizadas no retículo endoplasmático granuloso, do qual migram para o complexo golgiense. Neste, são "empacotadas" em bolsas membranosas, que são liberadas para o citosol e passam a constituir os **lisossomos primários**. Uma célula animal pode conter dezenas ou centenas dessas organelas.

A função dos lisossomos é promover a **digestão intracelular**. A atividade lisossômica é significativa em células que capturam partículas ou substâncias do meio externo por fagocitose ou pinocitose. Esse é o caso de protozoários como a ameba, que capturam alimentos e os digerem dentro de grandes bolsas membranosas, comparáveis a pequenos "estômagos" intracelulares.

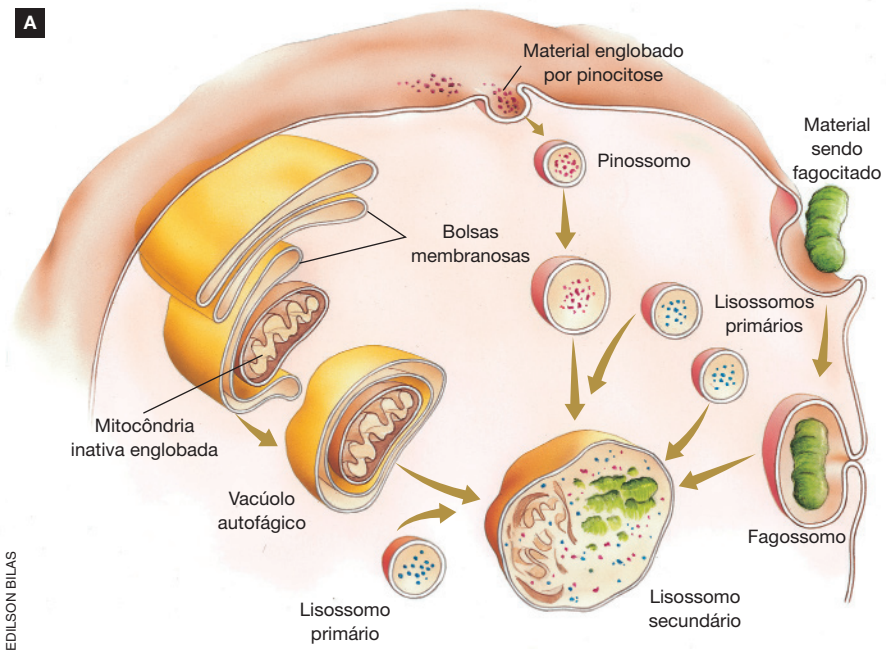
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Outras células em que há grande atividade lisossômica são os macrófagos e certos tipos de glóbulo branco do sangue, que capturam bactérias e outros agentes invasores de nosso corpo, defendendo-o de infecções.

As bolsas membranosas com o material ingerido, sejam fagossomos ou pinossomos, fundem-se a lisossomos e originam bolsas maiores, em cujo interior ocorre a digestão intracelular. Essas bolsas são os **vacúolos digestivos**, também chamados **lisossomos secundários**.

Substâncias úteis originadas da digestão atravessam a membrana do vacúolo e passam para o citosol, no qual podem ser utilizadas como fonte de energia ou como matéria-prima para a produção de novos componentes celulares. Restos não aproveitáveis permanecem no vacúolo digestivo, que passa a ser chamado de **vacúolo residual**. Ao se fundir com a membrana plasmática, o vacúolo residual elimina os resíduos para o meio extracelular, processo denominado **clasmocitose** ou defecação celular.

A atuação dos lisossomos na digestão de partículas e substâncias vindas de fora da célula é denominada **função heterofágica** (do grego, *hetero*, diferente, e *fagos*, comer) dos lisossomos. (Fig. 5.14)



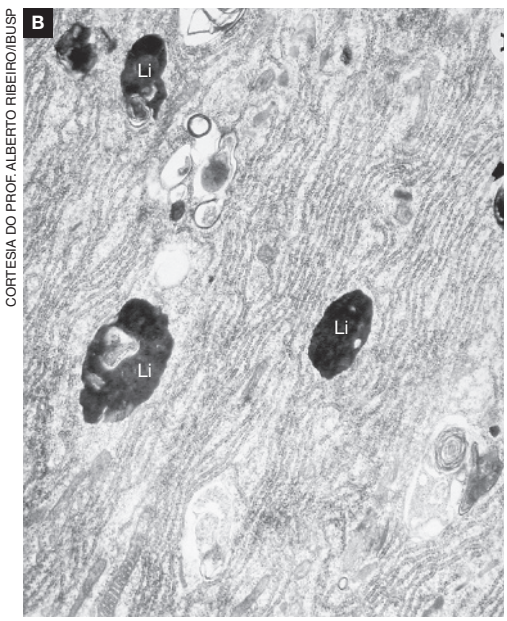


Figura 5.14 A. Representação esquemática das funções heterofágica e autofágica dos lisossomos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.) **B.** Fotomicrografia de um corte de célula animal em que se veem lisossomos secundários (Li), alguns deles digerindo partes da própria célula. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 10.500×.)

Os lisossomos também atuam na digestão de partes da própria célula em que se encontram, o que é denominado **função autofágica** (do grego *autos*, próprio, e *fagos*, comer). Por exemplo, quando um organismo é privado de alimento e suas reservas se esgotam, as células podem realizar autofagia e digerir partes de si mesmas como estratégia de sobrevivência.

A estrutura celular que vai ser digerida é inicialmente cercada por membranas do retículo endoplasmático, que formam em torno dela uma bolsa membranosa, o **autofagossomo**. Este se funde a um ou mais lisossomos, originando um **vacúolo autofágico**. Este, como o vacúolo heterofágico, também é um lisossomo secundário, pois em seu interior ocorre a digestão.

Células eucarióticas utilizam normalmente a autofagia para eliminar partes desgastadas e reaproveitar alguns de seus componentes. Células nervosas do cérebro, por exemplo, que se formam na fase embrionária e podem durar por toda a nossa vida, têm todos os seus componentes (exceto os genes) digeridos e reciclados a cada mês. Nesse contexto, a autofagia é um processo que permite às células manter sua "juventude".

Ciência e cidadania

Os pequenos lisossomos e seus grandes efeitos

1 O estudo aprofundado das células tem permitido entender os intrincados caminhos que levam a determinadas doenças humanas, possibilitando eventualmente sua cura, tratamento e prevenção. Você sabia, por exemplo, que já se conhecem mais de 25 doenças resultantes de distúrbios digestivos das células?

Doença de Tay-Sachs

2 A doença de Tay-Sachs (DTS) resulta de um defeito na enzima que atua em uma das etapas da digestão intracelular de um gangliosídio, substância normalmente presente nas membranas das células nervosas, mas que precisa ser continuamente reciclada por meio da digestão dos lisossomos. As autópsias mostram que as células nervosas dos doentes estão aumentadas devido ao inchaço dos lisossomos, que ficam repletos de gangliosídios não digeridos. Os sintomas da DTS começam a se manifestar no primeiro ano de vida; por volta dos dois anos, a criança já apresenta sinais de demência e geralmente morre antes de completar três anos de idade.

Silicose e asbestose

3 Duas outras doenças relacionadas aos lisossomos são a silicose e a asbestose, que afetam os pulmões.

4 A **silicose** é comum em pessoas constantemente expostas a pó de sílica, como os trabalhadores de marmorarias e os ceramistas, entre outros. Os minúsculos cristais dessa substância ficam em suspensão no ar inalado e atingem os pulmões, nos quais são ingeridos por fagocitose pelos macrófagos, células de defesa que "patrulham" os alvéolos pulmonares. As partículas de sílica acumulam-se nos lisossomos dos macrófagos e acabam por perfurá-los, levando ao derrame de enzimas ativas e a prejuízos às células pulmonares.

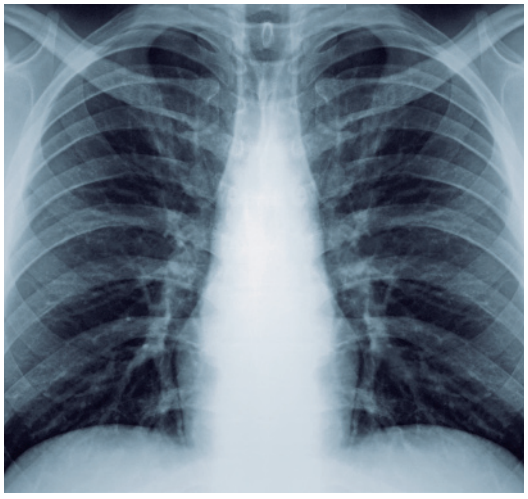
5 A **asbestose** é uma doença relacionada à inalação prolongada de poeira com alta concentração de fibras de amianto. À semelhança do que ocorre com a sílica, o amianto inalado acumula-se nos lisossomos de células pulmonares e altera seu funcionamento.

6 O amianto, ou asbesto, pertence ao grupo dos silicatos cristalinos hidratados. Ambas as denominações referem-se ao fato de esse material ser incombustível, o que difundiu seu emprego na produção de materiais antichamas. Além da incombustibilidade, a estrutura fibrosa do amianto possui alta resistência mecânica, durabilidade e flexibilidade. Por isso, esse material é empregado na indústria, principalmente para a fabricação de telhas e caixas-d'água, de autopeças de veículos, entre outras aplicações. O amianto já foi largamente utilizado como isolante térmico e proteção antichama nas décadas de 1940 e 1950.

7 O uso do amianto vem sendo proibido em vários países; embora ainda utilizado em alguns estados brasileiros, sua proibição no Brasil todo é questão de tempo. De acordo com dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), um terço dos cânceres ocupacionais – ou seja, aqueles originados por agentes carcinogênicos presentes no ambiente de trabalho – é causado pela inalação de fibras de amianto[1].

STEVE ALLEN/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

SIMON BELCHER/ALAMY/GLOW IMAGES



À esquerda, radiografia da caixa torácica de uma pessoa cujos pulmões estão fibrosados em decorrência da asbestose. À direita, radiografia mostrando pulmões sadios.

1 Mais informações em: <http://www2.stf.jus.br/portalStfInternacional/cms/destaquesNewsletter.php?sigla=newsletterPortalInternacionalDestaques&idConteudo=217549>. Acesso em: maio 2016.

8 Embora para muitas pessoas essas precauções pareçam exageradas, autoridades da área da saúde sugerem aos que têm um telhado de amianto que procurem instalar um forro ou alguma proteção para evitar o contato com o farelo das telhas, que se desprende principalmente com a umidade e o bolor. Recomendam-se também cuidados com a caixa-d'água, evitando o uso de escova de aço na limpeza e principalmente produtos agressivos, como a água sanitária. O ideal, com o tempo, é substituí-la.

Encefalopatias espongiformes transmissíveis

9 Os lisossomos estão implicados em uma série de doenças conhecidas como encefalopatias espongiformes transmissíveis ou TSE (do inglês, ***t**ransmissible **s**pongiform **e**ncephalopathies*). A mais conhecida delas é a **doença da vaca louca** ou BSE (do inglês, ***b**ovine **s**pongiform **e**ncephalopathy*); sua correspondente humana é a nova variante da doença de Creutzfeldt-Jakob, mais conhecida pela sigla nvCJD.

10 Essas doenças caracterizam-se por uma degeneração lenta do sistema nervoso central decorrente do acúmulo de uma proteína fibrosa infectante conhecida como **príon**, geralmente adquirida pela ingestão de carne contaminada. O aspecto esponjoso do cérebro dos doentes deve-se ao acúmulo de fibras dessa proteína.

11 Os surtos da doença da vaca louca no gado bovino da Inglaterra e de alguns outros países, nas décadas de 1980 e 1990, foram provavelmente causados pela prática de enriquecer a ração dos rebanhos com proteína animal derivada de carcaças. Animais eventualmente contaminados por príons tiveram suas carcaças reduzidas a pó e serviram de alimento a animais sadios, contaminando-os. Casos de nvCJD, principalmente em pessoas na Inglaterra, foram relacionados à ingestão de carne proveniente de animais infectados por príons. O Brasil está aparentemente livre da doença porque em nossa pecuária o gado é alimentado quase exclusivamente com produtos de origem vegetal.

12 O **kuru** é uma doença neurológica causada por príon, endêmica entre nativos da Nova Guiné e cuja transmissão está ligada a rituais de canibalismo. Nessas populações, costuma-se macerar o cérebro do cadáver e utilizá-lo no preparo de uma sopa, ingerida pelos familiares do morto. Se este era portador da encefalopatia transmissível, os familiares correm o risco de contrair a doença. Como os sintomas levam anos para se manifestar, foi difícil estabelecer a relação entre os rituais e a aquisição da enfermidade.

13 Supõe-se que, quando uma pessoa ou um animal ingerem carne contaminada por príons, estes não são digeridos e penetram intactos na circulação sanguínea. Pelo sangue, os príons chegam aos nervos e aos corpos celulares dos neurônios, nos quais começam a fazer com que proteínas normais similares a eles se transformem em novos príons. Estes, sendo resistentes à digestão, acumulam-se nos lisossomos e acabam por causar a morte das células nervosas. A lenta destruição dos neurônios afeta o funcionamento do sistema nervoso, levando ao aparecimento dos sintomas típicos da doença: perda gradativa da memória recente e de orientação espacial, incontinência urinária e demência.

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1 Leia o primeiro parágrafo do quadro. Como você responderia a alguém que não considere importante conhecer os distúrbios digestivos das células?

2 O segundo parágrafo apresenta a doença de Tay-Sachs. Qual é a relação dessa doença com os lisossomos?

3 Leia os parágrafos 3, 4 e 5 do quadro, que descrevem duas outras doenças: a silicose e a asbestose. Qual é a relação de cada uma delas com os lisossomos?

4 Nos parágrafos 6, 7 e 8 fala-se do uso de materiais que contêm amianto (caixas-d'água, telhas etc.), das recomendações para o seu uso e da proibição desse produto em alguns países. Você já ouviu falar nesse assunto? Pesquise a situação do uso do amianto no Brasil e informe-se sobre os riscos do uso desse material para a saúde das pessoas.

5 Com base na leitura do nono e do décimo parágrafos do quadro, responda: o que é a "doença da vaca louca"?

6 Leia o parágrafo de número 11, que comenta sobre a disseminação da "doença da vaca louca" na Inglaterra. Por que, segundo o texto, o Brasil está aparentemente livre da doença?

7 No décimo segundo parágrafo, é apresentado o kuru, doença também causada por um príon. De acordo com o texto, como se dá a disseminação dessa doença?

8 No último parágrafo do quadro (13º), é estabelecida a relação entre doenças causadas por príons ("doença da vaca louca" e kuru) e os lisossomos. Qual é ela?

5.6 Sustentação celular: paredes e citoesqueleto

Parede celular

As células de bactérias, fungos, algas, plantas e alguns protozoários têm **parede celular**, um envoltório externo rígido ao qual adere internamente a membrana plasmática.

A estrutura e a composição química da parede celular variam muito. Nas células de plantas e de algas, por exemplo, a parede é constituída basicamente por **celulose** e, por isso, é chamada parede celulósica. A espessura da parede celulósica das plantas também é bastante variável; em células vegetais jovens, a parede celulósica é fina e elástica, medindo entre 0,1 μm e 0,2 μm de espessura. Em células vegetais maduras, ela pode ter entre 1 μm e 10 μm de espessura.

As moléculas de celulose organizam-se em feixes resistentes – as microfibrilas – que se mantêm unidos graças a uma matriz formada por glicoproteínas (proteínas ligadas a açúcares) e polissacarídios (hemicelulose e pectina). Em células vegetais jovens, as microfibrilas de celulose da parede formam um arranjo cruzado, que alia resistência à elasticidade e possibilita o crescimento da célula. (Fig. 5.15)

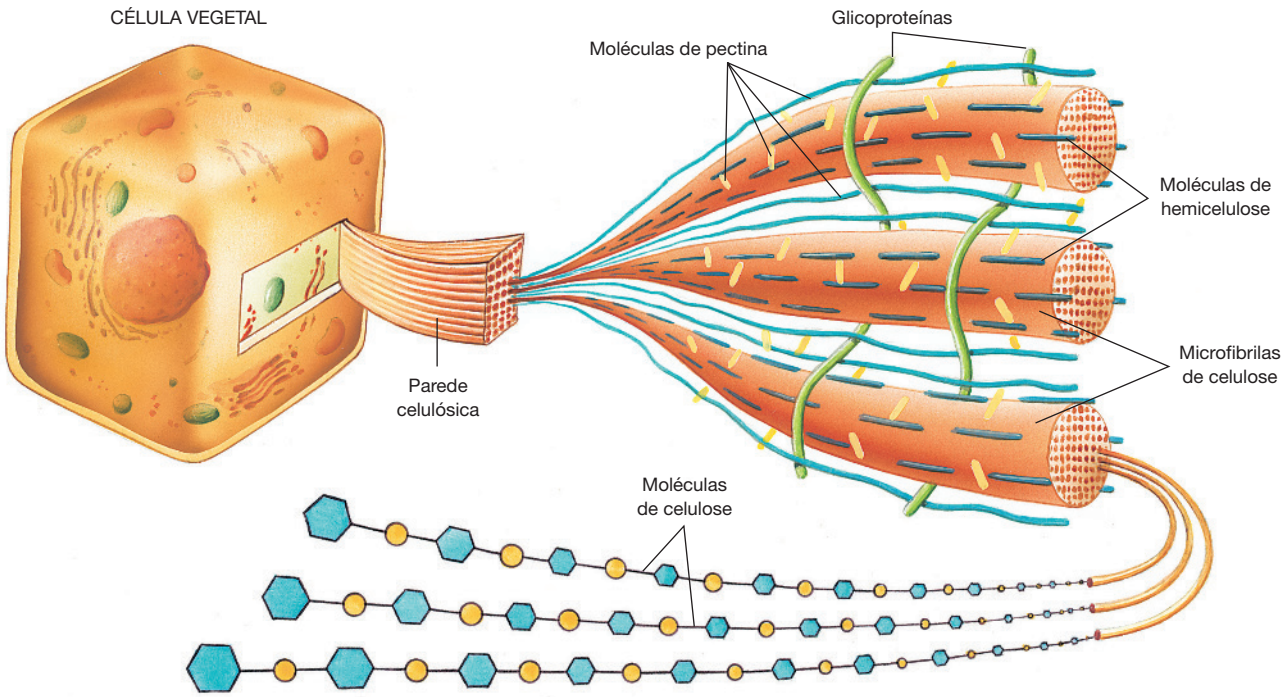


Figura 5.15 Representação esquemática da estrutura molecular da parede celulósica. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Alberts, B. e cols., 2004.)

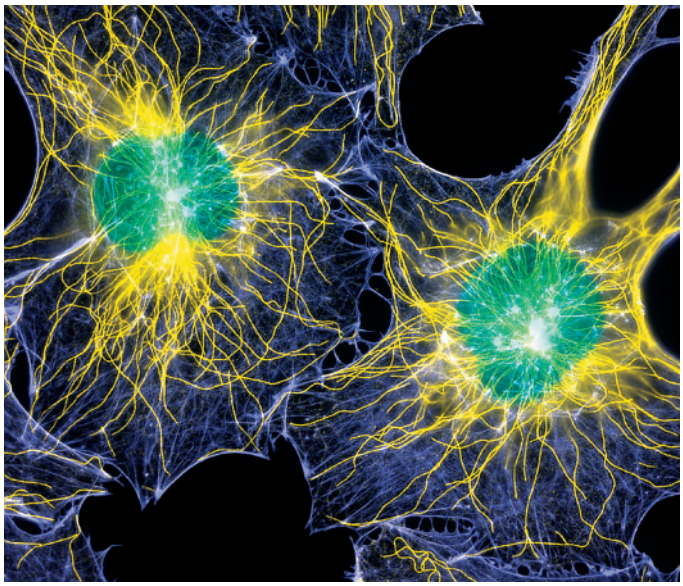
JURANDIR RIBEIRO

Citoesqueleto

As células eucarióticas apresentam um complexo estrutural de túbulos e filamentos proteicos mergulhados no citosol: o **citoesqueleto**. Este desempenha diversas funções: a) define a forma da célula e organiza sua estrutura interna; b) permite a adesão de uma célula às suas vizinhas e a superfícies extracelulares; c) promove o deslocamento de materiais no citoplasma. O citoesqueleto também participa de movimentos celulares, da contração muscular, da movimentação dos cromossomos durante as divisões celulares e dos movimentos de cílios e de flagelos.

Os finíssimos túbulos proteicos do citoesqueleto, chamados **microtúbulos**, medem cerca de 25 nm de diâmetro e podem atingir até alguns micrômetros de comprimento. Suas paredes são constituídas por moléculas da proteína **tubulina**. Em nossa célula imaginária aumentada 100 mil vezes, um microtúbulo teria cerca de 2,5 mm de espessura, comparável ao tubo de tinta de uma caneta esferográfica, com até 50 cm de comprimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



DR. TORSTEN WITTMANN/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Outros componentes do citoesqueleto são os **microfilamentos** de actina, uma proteína abundante nos organismos eucarióticos. Esses filamentos têm cerca de 7 nm de espessura e dispõem-se no citoplasma de duas maneiras principais: lado a lado, formando feixes, ou entrelaçados, formando redes. (Fig. 5.16)

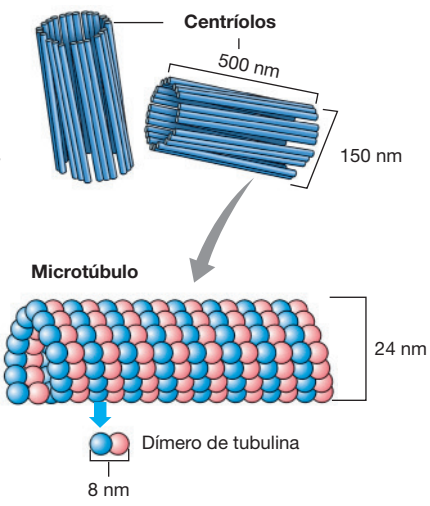
O citoesqueleto é uma estrutura dinâmica. Microtúbulos surgem e se desfazem continuamente, pela respectiva organização e desorganização das proteínas que os compõem. Os microfilamentos de actina aumentam e diminuem em comprimento e seus feixes e redes modificam-se sempre. Filamentos da proteína miosina deslizam sobre filamentos de actina, levando a célula a mudar de forma, a criar pseudópodes e a expulsar as secreções, entre outros movimentos.

Figura 5.16 A fotomicrografia mostra o citoesqueleto de dois fibroblastos cujos componentes foram evidenciados em amarelo (tubulina) e azul (actina), por uma técnica denominada imunofluorescência; o núcleo está evidenciado em verde. (Microscópio fotônico iluminado com luz ultravioleta; aumento ≈ 900×; cores artificiais.)

5.7 Centríolos, flagelos e cílios

A maioria das células eucarióticas, com exceção das de fungos e de plantas com sementes (gimnospermas e angiospermas), apresenta pelo menos um par de **centríolos**, pequenos cilindros ocos, cada qual constituído por nove conjuntos de três microtúbulos unidos por proteínas adesivas. O par de centríolos localiza-se na região celular denominada **centrossomo** ou **centro celular**, local para onde convergem os microtúbulos do citoesqueleto. (Fig. 5.17)

Os centrossomos têm papel importante no processo de divisão celular. Como veremos no próximo capítulo, os microtúbulos que convergem para os centrossomos puxam os cromossomos, separando-os corretamente para as células-filhas.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 5.17 Representação esquemática de um par de centríolos e detalhe de um pedaço de microtúbulo, mostrando as moléculas de tubulina que o constituem. (Elaborada com base em Lodish, H. e cols., 2005.)

Certas células têm estruturas filamentosas móveis que se projetam da superfície celular como pelos microscópicos. Dependendo do tamanho e do tipo de movimentação, esses filamentos são classificados em flagelos ou cílios.

Os **flagelos** são geralmente mais longos que os cílios e ocorrem em menor número por célula; o espermatozoide humano, por exemplo, cuja cabeça mede 5 μm de comprimento por 3 μm de largura, tem um único flagelo de aproximadamente 41 μm de comprimento. Os gametas de certas plantas possuem dois, quatro ou mais flagelos. Os movimentos flagelares são ondulações que se propagam da base para a extremidade livre do filamento.

Os **cílios** são mais curtos que os flagelos e ocorrem em número relativamente maior por célula, da ordem de dezenas ou centenas. Seus movimentos assemelham-se aos de um chicote, com frequência de 10 a 40 batimentos por segundo.

As funções de flagelos e cílios compreendem a movimentação da célula em meios líquidos, como ocorre com gametas e certos protozoários, ou a movimentação de líquidos em relação à célula, como ocorre com certos protozoários e animais, cujos cílios criam correntes que trazem partículas alimentares. Nossa traqueia é internamente revestida por células ciliadas, que "varrem" para fora o muco que lubrifica as vias respiratórias, livrando-nos assim de bactérias e partículas inaladas com o ar.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Tanto os flagelos quanto os cílios originam-se a partir de centríolos, que migram para a periferia da célula e crescem pelo alongamento de seus microtúbulos. A membrana plasmática acompanha esse crescimento e passa a envolvê-los, como se fosse uma luva.

A estrutura interna de flagelos e cílios é idêntica: eles apresentam nove duplas de microtúbulos periféricos, além de um par de microtúbulos centrais. (Fig. 5.18)

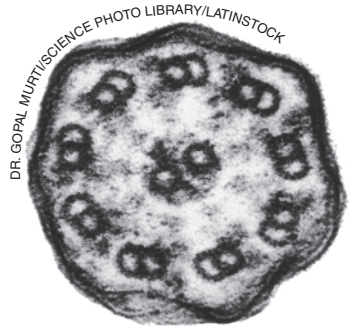


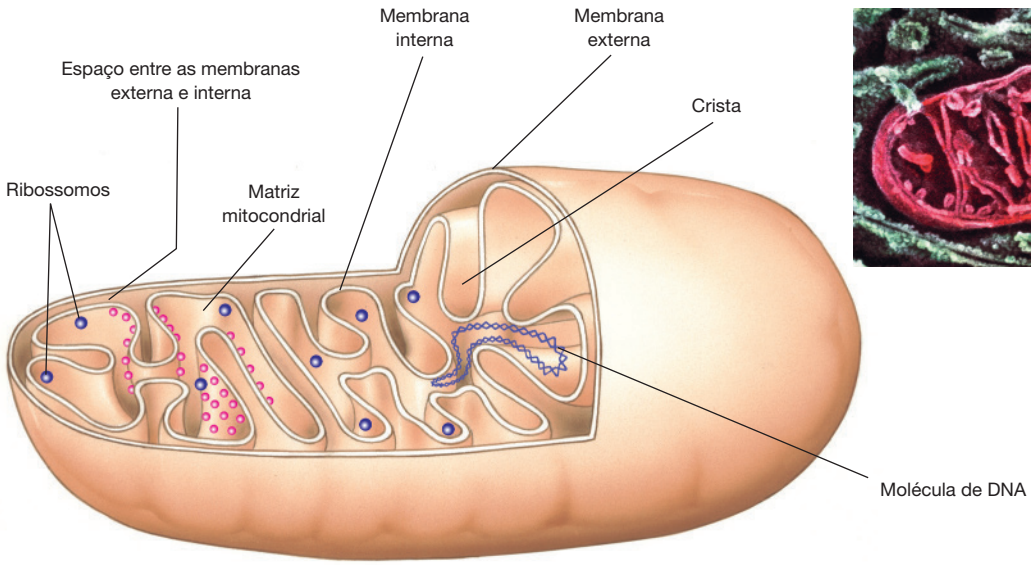
Figura 5.18 Fotomicrografia de cílio cortado transversalmente. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 170.000×.)

5.8 Mitocôndrias e plastos

Mitocôndrias: sede da respiração aeróbica

Com exceção de um pequeno grupo de protozoários, todos os organismos eucarióticos apresentam **mitocôndrias**, organelas membranosas em geral com cerca de 2 μm de comprimento por 0,5 μm de diâmetro. O número de mitocôndrias em uma célula varia de dezenas a centenas, dependendo do tipo de célula e do seu grau de atividade.

A mitocôndria é delimitada por duas membranas lipoproteicas; a membrana externa é lisa e semelhante às demais membranas celulares; a membrana interna apresenta dobras e pregas, denominadas cristas mitocondriais, que se projetam para o interior da organela. O espaço interno da mitocôndria é preenchido por um fluido viscoso — a matriz mitocondrial — que contém diversas enzimas, DNA, RNA e ribossomos semelhantes aos das bactérias. (Fig. 5.19)



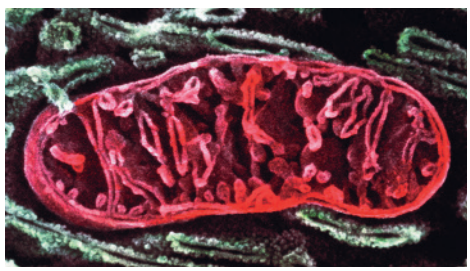


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

Figura 5.19 Representação esquemática de uma mitocôndria com uma parte removida para visualizar seus componentes internos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.). No detalhe, micrografia de uma mitocôndria cortada, em vermelho, entre tubos e bolsas membranosos do citoplasma, em verde. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 29.000×; cores artificiais.)

Mitocôndrias surgem exclusivamente por autoduplicação de mitocôndrias preexistentes. Quando a célula se divide por mitose e origina duas células-filhas, cada uma recebe aproximadamente metade das mitocôndrias da célula-mãe. À medida que as duas células crescem, suas mitocôndrias se autoduplicam, restabelecendo o número original.

A complexidade das mitocôndrias, sua capacidade de autoduplicação e a semelhança com certas bactérias levaram os cientistas a imaginar que essas organelas tenham se originado de seres procarióticos primitivos que, no passado, se instalaram no citoplasma de primitivas células eucarióticas. Essa explicação para a origem das mitocôndrias, válida também para os plastos, é conhecida como hipótese endossimbiótica ou simbiogênese.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Um fato interessante sobre as mitocôndrias é que, em animais com reprodução sexuada, essas organelas têm sempre origem materna. Apesar de os gametas masculinos possuírem mitocôndrias, elas degeneram logo após a fecundação, de modo que todas as mitocôndrias do zigoto e, consequentemente, as de todas as células do novo indivíduo descendem das que estavam presentes no gameta feminino.

Cloroplasto: sede da fotossíntese

Os **cloroplastos** estão presentes apenas em células de algas e de plantas. Essas organelas têm geralmente forma alongada e achatada, com cerca de 4 μm de comprimento por 1 a 2 μm de espessura. Uma única célula de uma folha pode conter entre 40 e 50 cloroplastos.

Os cloroplastos das plantas são delimitados externamente por duas membranas lipoproteicas; em seu interior, há um complexo membranoso formado por bolsas discoidais achatadas e empilhadas, os tilacoides, no qual se localizam as moléculas do pigmento **clorofila** (do grego *chloros*, verde). As moléculas de clorofila dispõem-se de modo muito bem organizado nas membranas do tilacoide, formando os chamados complexos de antena, altamente eficientes na captação de energia luminosa para a realização da fotossíntese.

A membrana do tilacoide apresenta inúmeras dobras, formando tubos e bolsas achatadas, que geralmente se organizam em conjuntos de pilhas denominados *grana* (plural do latim *granum*, grão). As cavidades internas dos *grana* estão em comunicação direta, constituindo um compartimento único, o lúmen do tilacoide. O espaço entre os tilacoides é preenchido por um fluido denominado estroma: uma solução aquosa que contém DNA, RNA e ribossomos semelhantes aos das células bacterianas, além de vários tipos de enzimas. (Fig. 5.20)

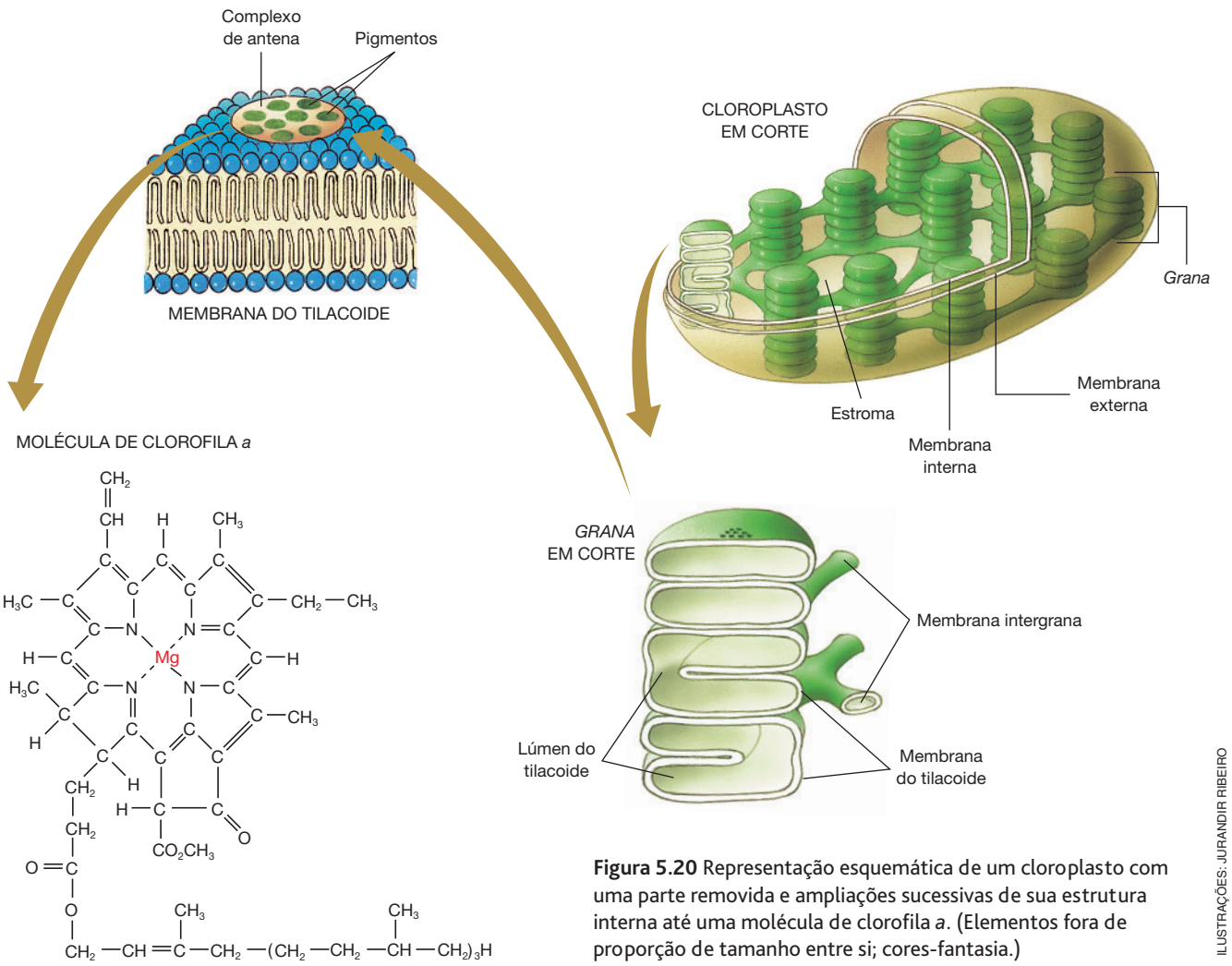


Figura 5.20 Representação esquemática de um cloroplasto com uma parte removida e ampliações sucessivas de sua estrutura interna até uma molécula de clorofila *a*. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

1. As duas principais substâncias orgânicas constituintes das biomembranas são 1. b

a) glicídios e ácidos nucleicos.
b) lipídios e proteínas.
c) glicídios (polissacarídios) e proteínas.
d) lipídios e ácidos nucleicos.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 2 a 5.

a) hipertônica
b) hipotônica
c) isotônica
d) transporte ativo
e) transporte passivo

2. Quando uma substância passa através da membrana plasmática sem gasto de energia por parte da célula, fala-se em (▬). 2. e

3. Processos de passagem de substâncias através da membrana plasmática que dependem da energia celular são genericamente chamados (▬). 3. d

4. Quando comparamos duas soluções, dizemos que a menos concentrada em solutos é (▬) e que a mais concentrada em solutos é (▬). 4. b, a

5. Uma solução com a mesma concentração em solutos que outra é (▬) em relação a ela. 5. c

6. O mecanismo de transporte ativo de íons de Na^+ e de K^+ através da membrana plasmática com gasto de energia é chamado 6. a

a) bomba iônica.
b) difusão facilitada.
c) fagocitose.
d) osmose.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 7 a 12.

a) acrossomo
b) complexo golgiense
c) lisossomo
d) retículo endoplasmático não granuloso
e) retículo endoplasmático granuloso
f) ribossomo

7. O conjunto de bolsas membranosas com grânulos aderidos à face voltada para o citosol, presente nas células eucarióticas, é o (▬). 7. e

8. O (▬) é uma bolsa membranosa citoplasmática que contém enzimas capazes de digerir diversos tipos de substâncias orgânicas. 8. c

9. O (▬) é constituído por um conjunto de bolsas membranosas achatadas e empilhadas, cuja função é "empacotar" e "despachar" substâncias produzidas pela célula. 9. b

10. O (▬) é um grânulo constituído por proteínas e RNA, cuja função é sintetizar proteínas. 10. f

11. A bolsa repleta de enzimas digestivas que os espermatozoides apresentam na "cabeça" é chamada (▬) e tem origem no (▬). 11. a, b

12. O sistema formado por tubos e bolsas membranosos interligados e sem grânulos aderidos, presente no interior das células eucarióticas, é chamado (▬). 12. d

13. Durante o fenômeno de osmose, ocorre passagem de água preferencialmente da solução menos concentrada em solutos para a solução 13. a

a) hipertônica.
b) hipotônica.
c) isotônica.
d) osmótica.

14. Células mergulhadas em solução (I) incham; entretanto, células vegetais não estouram devido à presença de (II). Qual alternativa contém os termos que substituem corretamente os números entre parênteses? 14. a

a) (I) = hipotônica; (II) = parede celulósica.
b) (I) = hipotônica; (II) = vacúolo.
c) (I) = hipertônica; (II) = parede celulósica.
d) (I) = hipertônica; (II) = vacúolo.

Associe cada organela citoplasmática das alternativas a seguir com a respectiva função apresentada nos itens 15 a 18.

a) Complexo golgiense.
b) Lisossomo.
c) Retículo endoplasmático não granuloso.
d) Retículo endoplasmático granuloso.

15. Secreção celular. 15. a

16. Digestão intracelular. 16. b

17. Síntese de proteínas. 17. d

18. Síntese de lipídios. 18. c

19. Certas células presentes no revestimento interno de nossa traqueia produzem e eliminam, por exocitose, substâncias mucosas que lubrificam e protegem a superfície traqueal. Qual organela citoplasmática é diretamente responsável pelo "empacotamento" e eliminação do muco? 19. b

a) Acrossomo.
b) Complexo golgiense.
c) Ribossomo.
d) Vacúolo digestivo.
e) Vacúolo residual.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

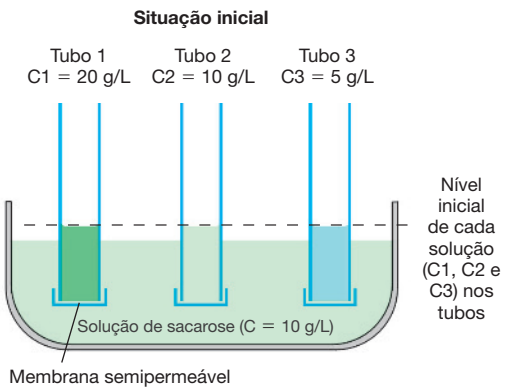
Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

20. Do terceiro parágrafo do item *Biomembranas* e a *permeabilidade celular*, consta o trecho: "As células são altamente dependentes de ambientes aquosos porque as biomembranas somente conseguem manter sua organização molecular em contato direto com a água, como podemos deduzir do modelo de Singer e Nicolson". Elabore um texto que explique claramente essa relação.

21. Entre as diversas maneiras de verificar a difusão, mencionamos a seguir uma que pode ser realizada com materiais simples. Ponha água em um recipiente largo de vidro transparente (uma placa de Petri ou um pirex, desses usados na cozinha) e mantenha-o sobre uma superfície branca, em um local bem iluminado. Espere até que a água pare de se agitar e, então, pingue uma gota de tinta nanquim preta (ou tinta à base de látex) bem perto da superfície da água. Observe a difusão das partículas de tinta pelo líquido. Teste o efeito da temperatura da água sobre a velocidade com que a difusão ocorre, pingando a tinta em um recipiente com água bem gelada e em outro com água quente. Em qual deles você espera que a difusão ocorra mais rapidamente? Por quê?

22. Três tubos de vidro têm, na extremidade inferior, membranas semipermeáveis (isto é, permeáveis à água, mas impermeáveis ao soluto) e foram mergulhados em um recipiente contendo uma solução aquosa de sacarose de concentração C = 10 g/L. Os tubos apresentavam, inicialmente, volumes iguais de soluções de sacarose de diferentes concentrações: C1 = 20 g/L (tubo 1); C2 = 10 g/L (tubo 2); C3 = 5 g/L (tubo 3). O que se espera que ocorra com o nível de líquido em cada um dos tubos após algum tempo? Por quê?



ADILSON SECCO

(Esquema simplificado.)

23. Um pesquisador verificou que a concentração de certa substância dentro da célula era vinte vezes maior do que fora dela. Sabendo que a substância em questão é capaz de se difundir facilmente através da membrana plasmática, como pode ser explicado o fato de não ser atingido o equilíbrio entre as concentrações interna e externa?

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

24. Atividade de laboratório: Osmose em ovos de codorna

Uma dificuldade em realizar experimentos sobre osmose é encontrar membranas semipermeáveis que funcionem adequadamente, isto é, que permitam a passagem de água, mas impeçam a passagem de solutos. Porém, essa dificuldade técnica é superada com o uso da membrana coquilífera, encontrada sob a casca dos ovos das aves.

O objetivo desta atividade, que pode ser realizada facilmente no laboratório, na sala de aula ou em casa, é demonstrar o processo de osmose. Como a membrana coquilífera é permeável a sais, utilizamos uma solução de açúcar, e não uma solução salina, para esta demonstração.

Material

- 4 ovos de codorna;
- 1 recipiente médio (tigela, prato fundo etc.);
- 2 copos de vidro;
- água filtrada;
- vinagre branco (de vinho, de arroz etc.);
- açúcar de cana (sacarose);
- etiquetas de papel.

Procedimento

1. Para observar os efeitos da osmose nos ovos, é preciso antes remover a casca calcária. Para isso, vamos dissolver o carbonato de cálcio da casca usando o ácido acético presente no vinagre.

   Coloque o vinagre no recipiente e mergulhe os ovos de modo a cobri-los completamente. Deixe-os assim por cerca de 24 horas ou até a total remoção da casca calcária. A seguir, lave-os cuidadosamente sob água corrente. Durante a reação de dissolução, observa-se intenso desprendimento de bolhas de gás carbônico próximo à superfície do ovo. Essa reação está esquematizada a seguir.

$$2\,H_3C-COOH + CaCO_3 \rightarrow [Ca^{2+}][H_3COO^-]_2 + H_2O + CO_2$$

Ácido acético — Carbonato de cálcio — Acetato de cálcio — Água — Gás carbônico

2. Coloque a água nos copos até cerca de metade da capacidade. Em um deles, dissolva aproximadamente 5 colheres de sopa de açúcar, preparando uma solução altamente concentrada. O outro copo ficará apenas com água filtrada. Etiquete os copos, identificando as soluções contidas em cada um deles.
3. Coloque 2 ovos com a casca calcária removida em cada solução. Observe a forma e a consistência deles a cada 2 horas. Anote os resultados e tente explicá-los com base em seus conhecimentos sobre osmose.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. Em seguida, transfira um dos ovos da solução de açúcar para o copo de água filtrada, e um dos ovos da água filtrada para a solução açucarada. Observe o resultado após algum tempo. Explique o que aconteceu com cada um dos ovos.

25. Construção de modelos: Modelos tridimensionais de células

Construa um modelo tridimensional de uma célula e suas organelas. Para isso, podem ser usados massa de modelar, gelatina, gel para cabelo, filmes plásticos (para representar as membranas), macarrão e dezenas de outros materiais. Amendoins com casca, por exemplo, representam muito bem as mitocôndrias; uma ameixa pode representar adequadamente o núcleo celular, em modelos de tamanho compatível. Seja criativo e lembre-se de manter a relação de proporção de tamanho entre os elementos do seu modelo de célula. A confecção dos modelos pode ser filmada ou suas etapas podem ser fotografadas. Essas imagens, com um pequeno texto explicativo, podem ser usadas para compor um vídeo e postadas no *blog* da escola, por exemplo.

26. Atividade prática: Desenhar como forma de expressão e de aprendizagem

O desenho é uma ferramenta extremamente poderosa de expressão. Em Biologia, particularmente, desenhos, esquemas e gráficos são fundamentais à transmissão do conhecimento científico. Não é preciso ser artista nem ter habilidades especiais para fazer bons desenhos e esquemas dos componentes das células vivas. Entretanto, é preciso praticar bastante para melhorar o desempenho.

Proponha novos cortes e novos ângulos de observação de partes da célula. O lápis é o instrumento básico para os esboços iniciais, pois permite correções e aperfeiçoamentos. Lápis de cor e canetas coloridas são excelentes para o acabamento dos desenhos e para destacar as diferentes organelas. Organize com seus colegas um mural com desenhos grandes e detalhados, feitos em folhas de cartolina. Atente para a escala, que deve estar sempre representada nos desenhos, e também para as setas e legendas explicativas.

27. Divulgação científica: "Clipando" uma notícia de jornal

Nesta atividade, reproduzimos o artigo Exercícios autofágicos, do Dr. Drauzio Varella, publicado no jornal *Folha de S.Paulo*. Nele, o autor comenta um artigo científico publicado na revista científica *Autophagy*.

A tarefa é semelhante àquela feita pelo autor: fazer um *clipping*, isto é, um "recorte" do artigo de uma revista científica, extraindo dele as informações que interessam para sua própria matéria. Em nosso caso, ela seria publicada no jornal ou no *blog* da escola.

Veja a seguir nossas sugestões para a atividade.

- Faça uma leitura do texto e numere todos os seus parágrafos.
- Localize os parágrafos 5 e 15, em que se comenta sobre duas organelas celulares estudadas no capítulo: os lisossomos e as mitocôndrias. Note que o texto não cita nominalmente os lisossomos, apenas comenta suas funções.
- Identifique outros parágrafos ou frases do artigo que julgar interessantes e que possam ser utilizados como citações em seu texto. Além do título, sua matéria deve ter apenas 5 parágrafos de, no máximo, 10 linhas cada um. Imagine que seu editor-chefe tenha lhe pedido para desenvolver o seguinte argumento, relacionando-o aos assuntos do texto do jornal: *O que se aprende na escola pode melhorar nossa qualidade de vida*. Lembre-se de eleger um bom título para sua matéria e de usar o primeiro parágrafo para motivar o leitor; o último parágrafo é geralmente reservado para as conclusões, de preferência com algum "impacto", como no artigo do Dr. Drauzio Varella.

Exercícios autofágicos

A lista dos benefícios da atividade física está cada vez mais longa.

Praticar exercícios confere força muscular, ativa a circulação do sangue, melhora a oxigenação do cérebro e dos demais tecidos, além de combater a obesidade, proteger contra complicações cardiovasculares, diabetes, Alzheimer, doença de Parkinson e diversos tipos de câncer, como demonstram os estudos populacionais.

Apesar dessas constatações, explicar os mecanismos por meio dos quais a atividade física é capaz de aprimorar tal variedade de funções orgânicas tem sido difícil.

Em dezembro passado, um grupo italiano deu a primeira contribuição para esclarecer esse mistério. Em publicação na revista *Autophagy*, eles demonstraram que o exercício induz autofagia.

Autofagia é um mecanismo fisiológico que acontece no interior das células, por meio do qual restos de membranas, organelas e demais estruturas celulares envelhecidas ou deterioradas são englobadas e cortadas em pedaços para que seus componentes sejam reaproveitados, num processo silencioso de renovação contínua.

Essa reciclagem está presente em organismos que vão dos fungos aos mamíferos. Ela é fundamental para que as células possam obter a energia necessária para exercer suas funções. Quando algum estresse aumenta a demanda de energia, a autofagia aumenta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os pesquisadores italianos mostraram que o estresse causado pelo exercício físico estimula e potencializa a autofagia na musculatura de ratos atletas.

Em janeiro deste ano, Beth Levine, da Universidade do Texas, publicou na revista *Nature* uma pesquisa que confirma e aprofunda essa relação de causa e efeito: de fato, a autofagia está por trás dos efeitos benéficos da atividade física.

Numa primeira fase, Levine comprovou que camundongos mantidos naquelas rodas, em que o animal anda sem sair do lugar, apresentavam níveis mais elevados de autofagia não apenas nos músculos, mas em diversos órgãos.

Na segunda fase, comparou um grupo de camundongos normais com outro formado por camundongos mutantes que tinham como característica a total incapacidade de acelerar a autofagia em resposta ao estresse.

Nos camundongos normais, os músculos submetidos a exercícios extenuantes consumiram cerca de 85% da glicose obtida na alimentação. Como consequência, os níveis de glicose e de insulina na circulação diminuíram.

Nos mutantes, incapazes de responder com aumento da autofagia, o estresse causado pela mesma atividade física não modificou os níveis sanguíneos de glicose e insulina. Conclusão: a resposta da autofagia ao estresse é responsável pelos benefícios metabólicos imediatos da atividade física.

Para analisar os efeitos tardios, Levine engordou os dois grupos de camundongos até desenvolverem diabetes, para depois obrigá-los a fazer exercícios diários numa esteira rolante.

Passados dois meses, os ratos normais tinham ficado livres do diabetes e reduzido os níveis de colesterol e triglicérides, enquanto os mutantes continuavam diabéticos. Conclusão: o aumento da autofagia em resposta ao estresse também é fundamental para os efeitos a longo prazo da atividade física.

O exercício físico regular provoca adaptações duradouras na musculatura. A principal delas ocorre nas mitocôndrias, organelas celulares que funcionam como centrais de produção de energia e que se desgastam com o passar dos anos. Para melhorar seu rendimento a fim de cobrir a demanda de energia solicitada pelo aumento da atividade física, as mitocôndrias entram num processo de renovação que retarda o envelhecimento.

Essas descobertas ainda não esclarecem os detalhes do papel da atividade física na redução dos casos de câncer e doenças neurodegenerativas.

Não explicam também porque aqueles que resolvem andar míseros 40 minutos por dia depois de receber o diagnóstico e o tratamento convencional de câncer de intestino ou de mama aumentam de 30% a 50% suas chances de cura definitiva.

São tantos os benefícios da atividade física, leitor, que só existe uma explicação para a vida sedentária que a maioria leva: praticar exercícios vai contra a natureza humana. Nenhum animal adulto desperdiça energia.

Você já viu uma onça no zoológico dando um pique para perder a barriga?

VARELLA, Drauzio. *Folha de S.Paulo*, 11 ago. 2012. Disponível em: <www1.folha.uol.com.br/colunas/drauziovarella/1135203-exercicios-autofagicos.shtml>. Acesso em: 28 mar. 2016.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (UFMS) Hemácias humanas foram imersas em três tubos de ensaio, denominados A, B e C, contendo líquidos diferentes. Foram observados: redução de volume das hemácias no tubo A; aumento do volume das hemácias no tubo B; e nenhuma modificação de volume nas hemácias do tubo C. Determine a alternativa que indica a tonicidade das soluções A, B e C, respectivamente. 1. b

a) Isotônica, hipertônica e hipotônica.
b) Hipertônica, hipotônica e isotônica.
c) Hipotônica, hipertônica e isotônica.
d) Hipertônica, isotônica e hipotônica.
e) Hipotônica, isotônica e hipertônica.

2. (UFPel-RS) 2. d

Atenção na cozinha: não é aconselhável temperar, com sal e vinagre, uma salada de verduras, ou um pedaço de carne, muito tempo antes de consumir. Provavelmente as folhas da verdura ficarão murchas, e a carne vai começar a liberar muito líquido.

Baseado no texto e em seus conhecimentos, é correto afirmar que em ambos os casos ocorrerá

a) a difusão do solvente do meio hipertônico para o hipotônico, por isso a carne e as verduras perderão água.
b) a lise celular e por isso as células liberarão água, pois foram submetidas a um meio hipotônico.
c) a deplasmólise, processo em que há perda de água para o ambiente e consequentemente a diminuição do volume celular.
d) um processo de osmose, em que as células perderão água por serem submetidas a um meio hipertônico.
e) um processo de transporte ativo, em que as células secretarão água para ocorrer a entrada de sal nas próprias células.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

3. (Uerj) Em um experimento realizado em um laboratório escolar, duas tiras de batata foram mergulhadas por 10 minutos, uma na solução A e a outra na solução B. Os resultados, após este tempo, estão resumidos na tabela abaixo. 3. c

Solução	Condição da tira de batata
A	Amolecida
B	Rígida

Em relação à tonicidade do citoplasma das células de batata, as soluções A e B são, respectivamente, classificadas como

a) hipotônica e isotônica.
b) isotônica e hipertônica.
c) hipertônica e hipotônica.
d) hipotônica e hipertônica.

4. (UFC-CE) Suponha que você esteja trabalhando com uma suspensão de células animais, a partir da qual você deseje isolar uma proteína. Durante a preparação, vários lisossomos sofrem ruptura. Como consequência disso, ocorreria 4. c

a) liberação de ácidos nucleicos, que dificultariam o isolamento da macromolécula que você está tentando obter.
b) liberação de ATP, que facilitaria o processo de isolamento da macromolécula de seu interesse.
c) liberação de enzimas, que poderiam digerir a macromolécula que você está tentando isolar.
d) liberação de macromoléculas proteicas recém-sintetizadas nos lisossomos, o que aumentaria a quantidade da proteína a ser obtida.
e) interrupção da síntese de proteínas enzimáticas nos lisossomos, diminuindo a quantidade da proteína a ser obtida.

5. (Vunesp) No homem, o revestimento interno da traqueia apresenta células secretoras de muco que a lubrificam e a umedecem. A informação sobre a natureza secretora dessas células permite inferir que elas são especialmente ricas em estruturas citoplasmáticas do tipo 5. b

a) mitocôndrias e retículo endoplasmático liso.
b) retículo endoplasmático granular e aparelho de Golgi.
c) mitocôndrias e aparelho de Golgi.
d) lisossomos e aparelho de Golgi.
e) retículo endoplasmático granular e mitocôndrias.

6. (Unifap) Qual das afirmativas a seguir apresenta organelas citoplasmáticas em intensa atividade em uma célula glandular? 6. d

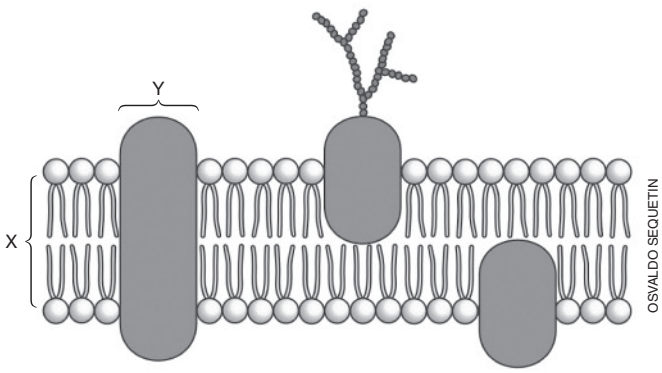
a) Lisossomas e complexo de Golgi.
b) Complexo de Golgi e mitocôndrias.
c) Retículo endoplasmático e mitocôndrias.
d) Retículo endoplasmático e complexo de Golgi.
e) Lisossomas e retículo endoplasmático.

7. (UFC-CE) Células animais com função secretora apresentam abundância de **retículo endoplasmático granuloso** (rugoso) e **complexo golgiense,** estruturas que se localizam próximas uma à outra e que trabalham em conjunto. Nesse trabalho em parceria, o retículo endoplasmático granuloso 7. c

a) libera proteínas digestivas em vesículas denominadas lisossomos, que atuarão em conjunto com os tilacoides do complexo golgiense.
b) produz fosfolipídios de membrana que serão processados no complexo golgiense e liberados no citoplasma para formação de novos ribossomos.
c) sintetiza proteínas e as transfere para o complexo golgiense, que as concentra e as libera em vesículas, que terão diferentes destinos na célula.
d) funde-se ao complexo golgiense para formar o acrossomo dos espermatozoides, responsável pela digestão da parede do óvulo e pela penetração nele.
e) acumula os polissacarídios de parede celular, produzidos no complexo golgiense, e os processa, antes de liberar as vesículas que se fundirão com a membrana plasmática.

Questões discursivas

8. (Unifesp) O esquema representa parte da membrana plasmática de uma célula eucariótica.



OSVALDO SEQUETIN

(Esquema simplificado.)

a) A que correspondem X e Y?
b) Explique, usando o modelo do "mosaico fluido" para a membrana plasmática, como se dá a secreção de produtos do meio intracelular para o meio extracelular.

9. (UFU-MG) Explique como os lisossomos são formados na célula e descreva a sua função, relacionando-a com a fagocitose.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 6

Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

JEREMY SUTTON-HIBBERT/ALAMY/GLOW IMAGES

A ovelha Dolly – o clone animal mais famoso do mundo – e o biólogo Ian Wilmut, líder da equipe responsável pela clonagem (Escócia, 2003).

Clones e a importância do núcleo celular

Belinda era uma ovelha de 6 anos de idade da raça Finnish-Dorset, de cor clara e uniforme. Em um experimento inédito, ela foi a doadora do núcleo de uma célula de sua glândula mamária. Fluffy, ovelha da raça Scottish Blackface (cara-preta), foi a doadora de um óvulo cujo núcleo foi eliminado e substituído pelo núcleo da célula da glândula mamária de Belinda. Após um pequeno choque elétrico, o núcleo transplantado incorporou-se ao citoplasma do óvulo de Fluffy e iniciou-se o desenvolvimento embrionário. O embrião assim produzido foi implantado no útero de uma terceira ovelha Scottish Blackface – Lassie – e nele se desenvolveu. Em 5 de julho de 1996 nasceu Dolly, um clone (isto é, uma "cópia") de Belinda. O nome, dizem, foi uma duvidosa homenagem a uma exuberante cantora estadunidense, aludindo ao fato de Dolly ter sido clonada a partir do núcleo de uma célula de glândula mamária.

Esse incrível feito científico foi realizado pela equipe liderada pelo biólogo escocês Ian Wilmut, do Instituto Rosling, na Escócia. Como era de esperar, a experiência suscitou grande polêmica. Abriam-se as portas para a clonagem humana, defendida por uns e criticada por outros.

Bastou um único núcleo celular de Belinda, convenientemente instalado no citoplasma do óvulo de Fluffy, para originar Dolly, uma réplica de Belinda. A experiência confirmou o que se esperava: o núcleo de uma célula somática contém todas as informações necessárias para originar um organismo completo, no caso, uma ovelha Finnish-Dorset muito semelhante a Belinda.

Em média, um núcleo celular mede entre 5 e 15 μm de diâmetro, algo em torno de 0,01 mm. Não é formidável pensar que um único núcleo de uma célula qualquer de nosso corpo, com seu tamanho microscópico, possui todas as informações necessárias para originar um organismo completo? E que os núcleos de todas as nossas células têm informações idênticas por serem a reprodução fiel do núcleo da célula-ovo que nos originou?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Nossa viagem ao interior das células chega, neste capítulo, a um ponto culminante: o núcleo celular. Como vimos no texto anterior, sobre a clonagem da ovelha Dolly, o núcleo contém todas as informações necessárias para o desenvolvimento e o metabolismo da célula.

Neste capítulo você aprenderá diversos conceitos importantes sobre o núcleo e seus principais componentes, os cromossomos, nos quais se localizam os genes, que contêm as informações básicas para cada espécie ser o que ela é. Exercite sua imaginação para visualizar a transição da estrutura nanométrica do cromossomo, constituído por uma única molécula de DNA associada a moléculas de proteínas, até o nível do cromossomo condensado, visível ao microscópio fotônico.

O capítulo aborda também a natureza das informações genéticas e como elas se multiplicam e se expressam por meio da transcrição e da tradução gênicas.

O estudo do papel dos cromossomos esclarece algumas das incríveis adaptações da célula para se reproduzir e transmitir todos os genes nucleares às células-filhas. Ao conhecer e compreender a mitose, processo pelo qual uma célula origina duas células idênticas, podemos entender melhor a continuidade da vida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6.1 Organização do núcleo interfásico

O microscopista pioneiro Antonie van Leeuwenhoek (1632-1723), no século XVII, fez a ilustração de uma célula de salmão com uma estrutura central identificada por *lúmen*, termo que significa cavidade. Essa é a mais antiga referência científica ao núcleo celular, embora Leeuwenhoek não o identificasse como tal. No início do século XIX, o microscopista e botânico austríaco Franz Bauer (1758-1840) notou a presença do núcleo em células vegetais, mas foi apenas em 1831 que o botânico escocês Robert Brown (1773-1858) o descreveu com mais detalhes, caracterizando-o como uma estrutura típica das células.

O **núcleo celular** é uma estrutura característica das células eucarióticas; cada célula quase sempre contém um núcleo, cujo tamanho e forma variam, dependendo do tipo celular. Entretanto, há células com dois ou mais núcleos: protozoários ciliados, por exemplo, apresentam um núcleo pequeno, o micronúcleo, e outro maior, o macronúcleo. As fibras musculares estriadas de nosso corpo, resultantes da fusão de várias células precursoras, têm dezenas ou centenas de núcleos. Ao contrário, as hemácias (células vermelhas do sangue) dos mamíferos não apresentam núcleo, pois ele degenera no decorrer do amadurecimento celular.

Envelope nuclear (carioteca)

O núcleo é delimitado pelo **envelope nuclear** ou **carioteca**, constituído por duas membranas lipoproteicas muito bem ajustadas uma à outra. A face interna da membrana, voltada para o interior do núcleo, é reforçada por uma camada de filamentos proteicos que constitui a lâmina nuclear. Em diversos pontos do envelope nuclear, as membranas externa e interna fundem-se em torno de um **poro**, através do qual ocorre troca de substâncias entre o núcleo e o citoplasma.

Os poros do envelope nuclear atuam como válvulas, abrindo-se para dar passagem a determinados materiais e fechando-se em seguida. No poro há uma estrutura conhecida como **complexo do poro**, formada por dezenas de tipos diferentes de proteínas. O complexo do poro controla ativamente o trânsito de partículas e de substâncias entre o núcleo e o citoplasma. (Fig. 6.1)

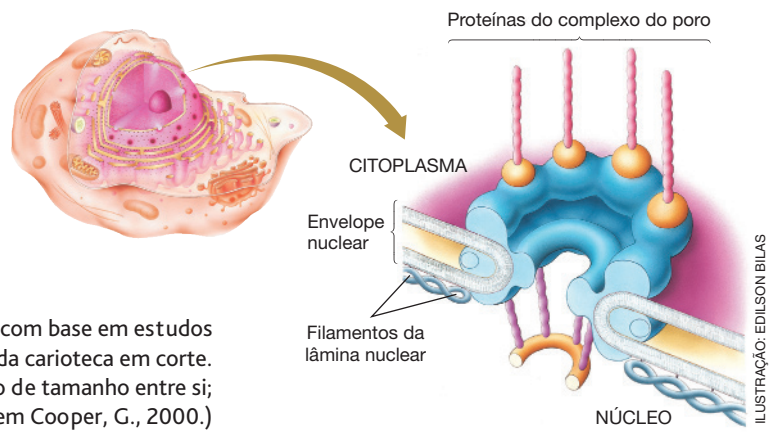


ILUSTRAÇÃO: EDILSON BILAS

Figura 6.1 Modelo tridimensional, feito com base em estudos ao microscópio eletrônico, de um poro da carioteca em corte. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborado com base em Cooper, G., 2000.)

Cromatina e nucléolo

Ao tratar células com certos corantes, os primeiros citologistas descobriram que o material contido no núcleo celular tinha capacidade de se corar intensamente, destacando-se das outras partes da célula. Por esse motivo, em meados do século XIX, passou a ser empregado o termo **cromatina** (do grego *chromatos*, cor) para designar o material altamente corável presente no núcleo celular. Na época, dada a baixa resolução dos microscópios, acreditava-se que a cromatina era uma massa de material amorfo. Mais tarde verificou-se, porém, que a cromatina era constituída por um material filamentoso, os cromossomos. Em uma célula imaginária que fosse ampliada 100 mil vezes, o núcleo seria equivalente a uma esfera de 1 m de diâmetro, delimitada por uma dupla membrana transparente e porosa. Em seu interior, os cromossomos seriam comparáveis a muitos metros de barbantes finos, longos e emaranhados como um novelo.

No interior do núcleo há geralmente uma ou mais estruturas globulares densas denominadas **nucléolos**. Um nucléolo é constituído pela aglomeração de muitos ribossomos em processo de formação e não apresenta nenhuma membrana envolvente. A principal substância constituinte dos ribossomos e, portanto, dos nucléolos é o **RNA ribossômico**, produzido em certas regiões de determinados cromossomos.

O nucléolo é uma estrutura dinâmica. Ao mesmo tempo que o material ribossômico sai do núcleo para o citoplasma, onde constitui os ribossomos, a região cromossômica que forma o nucléolo produz mais material ribossômico, que repõe o que vai para o citoplasma.

A cromatina se apresenta mais densamente condensada na periferia nuclear e mais frouxa na região central. Tanto a cromatina quanto os nucléolos se encontram mergulhados em uma solução aquosa que preenche o núcleo, o **nucleoplasma** ou cariolinfa, na qual circulam íons e diversas substâncias, como moléculas de ATP, nucleotídios e enzimas, apenas para citar as mais importantes. (Fig. 6.2)

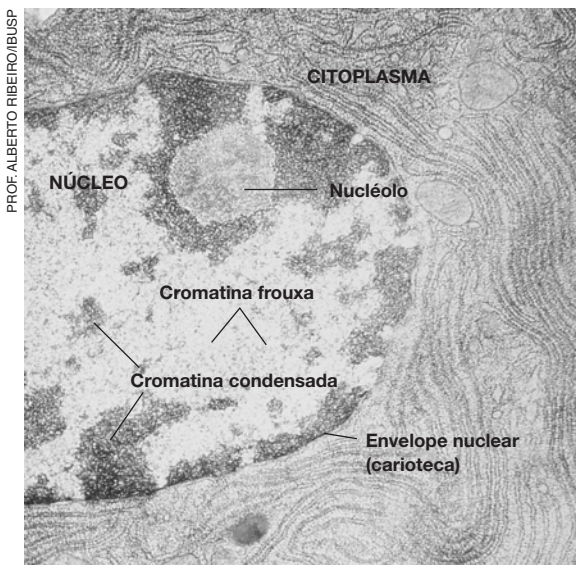


Figura 6.2 Fotomicrografia de um corte de célula animal, mostrando os principais constituintes do núcleo. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 11.000×.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6.2 Características gerais dos cromossomos

Praticamente todas as informações para o funcionamento das células eucarióticas e, consequentemente, do organismo estão inscritas nos **cromossomos**, estruturas filamentosas intranucleares constituídas por uma longa molécula de DNA associada a proteínas. As informações a que nos referimos, codificadas no DNA cromossômico, são os **genes**.

No núcleo celular, há geralmente vários cromossomos, que diferem quanto aos tipos de genes que apresentam. O número de cromossomos presentes no núcleo celular varia entre as espécies. Por exemplo, na espécie humana (*Homo sapiens*), as células corporais, denominadas células somáticas, têm 46 cromossomos no núcleo. As células somáticas do chimpanzé (*Pan troglodytes*) têm 48 cromossomos, ao passo que as da mosca drosófila (*Drosophila melanogaster*) têm 8 cromossomos. Ovelhas da espécie *Ovis aries*, a que pertencia Dolly, têm 54 cromossomos em suas células somáticas.

A arquitetura do cromossomo

Os estudantes devem ser estimulados a exercitar a imaginação para visualizar a transição da estrutura nanométrica do cromossomo, constituído por uma única molécula de DNA associada a moléculas de proteínas, até o nível do cromossomo condensado, estrutura visível ao microscópio fotônico.

Nas células eucarióticas, o cromossomo é constituído por uma longa molécula de DNA que, a espaços regulares, dá duas voltas sobre um grânulo de proteínas da classe das **histonas**. Cada grânulo proteico com um segmento de DNA enrolado constitui uma unidade estrutural – o **nucleossomo** –, que se repete ao longo do filamento cromossômico.

A associação entre nucleossomos vizinhos faz o filamento cromossômico enrolar-se como uma mola helicoidal compacta, originando um fio mais grosso, com cerca de 30 nm de espessura. Esse fio apresenta, ao longo do comprimento, outras proteínas, que fornecem sustentação esquelética ao cromossomo. A espessura do fio cromossômico associado ao esqueleto proteico é da ordem de 300 nm. Quando a célula se divide para originar duas células-filhas, o cromossomo enrola-se sobre si mesmo, assumindo um estado ainda mais condensado, com cerca de 700 nm de espessura. (Fig. 6.3)

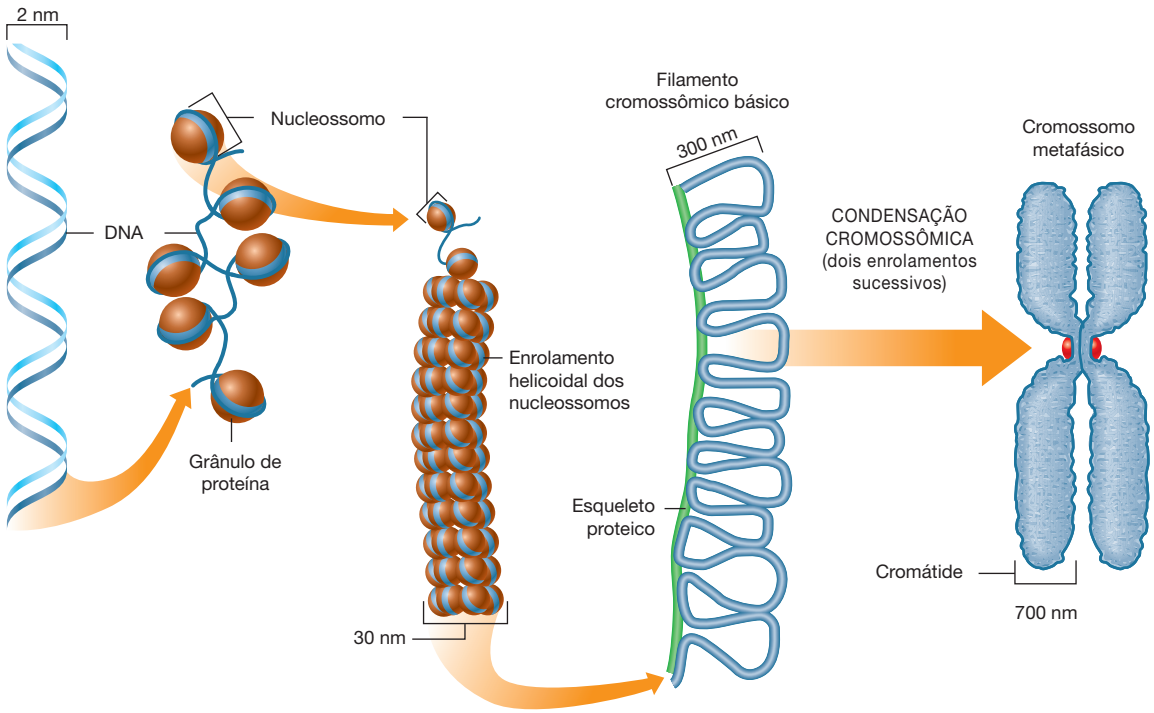


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 6.3 Representação esquemática dos níveis de organização do cromossomo em seres eucarióticos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

Cromátides-irmãs e centrômero

Uma célula que não está se dividindo encontra-se no período denominado **interfase**. É nesse estágio que ocorrem os preparativos para uma futura divisão celular. Um dos principais eventos que antecedem a divisão da célula é a duplicação dos cromossomos, condição necessária para sua posterior distribuição entre as células-filhas.

Ao se duplicar, cada cromossomo produz outro cromossomo idêntico; ambos permanecem juntos, aderidos por proteínas especiais e fundidos em um ponto denominado **centrômero**. Enquanto ainda estão unidas, as cópias de um cromossomo duplicado são denominadas **cromátides-irmãs**. A separação das cromátides ocorre em uma fase específica da divisão celular, durante a qual o centrômero se divide.

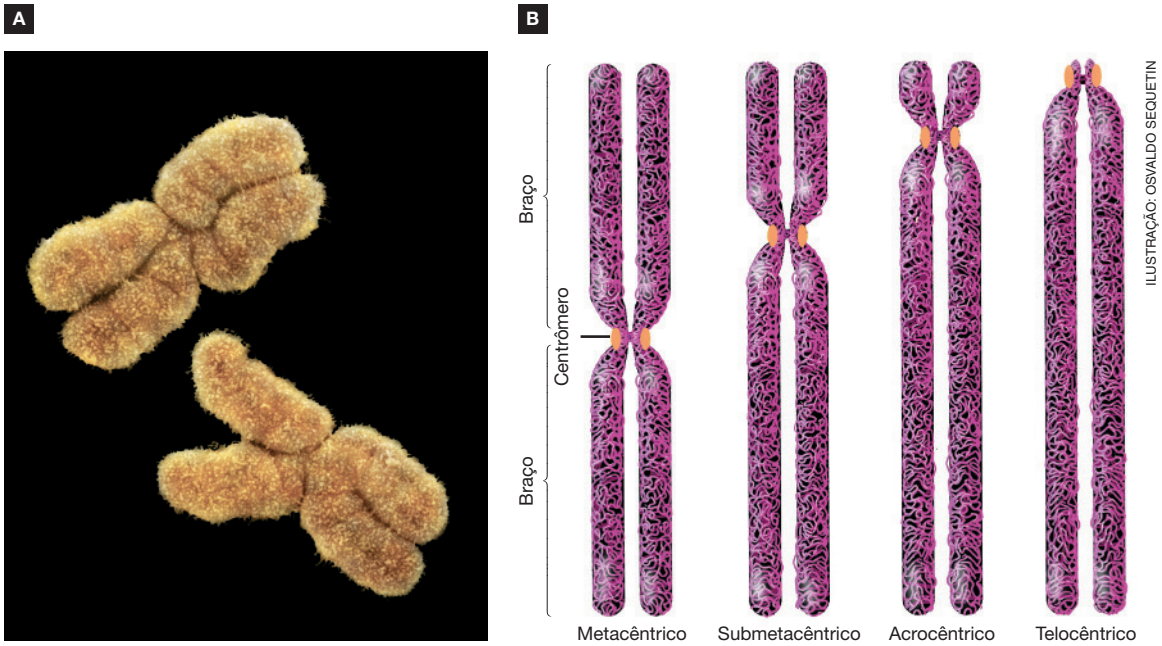
Durante a divisão celular, cada cromátide condensa-se independentemente de sua irmã, apesar de ambas continuarem unidas. Com a condensação, os cromossomos encurtam e tornam-se mais grossos, assumindo o aspecto de bastonetes duplos. O centrômero associa-se a microtúbulos presentes no citoplasma e desempenha papel fundamental na separação das cromátides-irmãs durante a divisão celular, como veremos adiante. (Fig. 6.4A)

Os pesquisadores costumam classificar os cromossomos pela posição do centrômero, reconhecido pela presença de um estrangulamento que divide o cromossomo condensado em dois "braços".

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

De acordo com esse critério, os cromossomos são classificados em quatro tipos: a) **metacêntrico**, em que o centrômero divide o cromossomo em dois braços aproximadamente de mesmo tamanho; b) **submetacêntrico**, em que o centrômero é deslocado da região mediana, definindo dois braços de tamanho um tanto desigual; c) **acrocêntrico**, em que o centrômero se localiza perto de uma das extremidades, definindo um braço bem maior que o outro; e d) **telocêntrico**, em que o centrômero se localiza na extremidade do cromossomo, que tem apenas um braço. (Fig. 6.4B)

Um trabalho interessante para os estudantes é a construção de modelos dos níveis de organização do cromossomo e dos tipos de cromossomos quanto à posição do centrômero. Se em sua escola houver a disciplina de Arte, converse com o professor responsável sobre a possibilidade de assessorar os estudantes na construção de modelos da estrutura dos cromossomos, de cromossomos duplicados e das relações entre cromossomos homólogos.



POWER AND SYRED/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

ILUSTRAÇÃO: OSVALDO SEQUETIN

Figura 6.4 A. Fotomicrografia de cromossomos humanos condensados. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 4.500×; cores artificiais.) **B.** Tipos de cromossomo de acordo com a posição do centrômero. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

As extremidades de um cromossomo apresentam organização peculiar e são denominadas **telômeros**. Para produzir as extremidades da molécula de DNA do telômero é necessária uma enzima especial, a telomerase.

Cromossomos e genes

Em uma definição simplificada, trechos da molécula de DNA que contém informações para a produção de proteínas podem constituir **genes**. O conjunto total de moléculas de DNA de uma espécie, incluindo tanto os genes quanto trechos de DNA não codificante, constitui o **genoma**.

Cromossomos homólogos

Na espécie humana, há 24 cromossomos diferentes: 22 deles são denominados autossomos e identificados por números de 1 a 22; os outros dois tipos, chamados de cromossomos sexuais, são identificados pelas letras X e Y. **Autossomos** são os tipos de cromossomos presentes em células de ambos os sexos. **Cromossomos sexuais** são os que variam entre os sexos e diferenciam células masculinas das femininas.

Cada célula do corpo de uma pessoa, com exceção dos gametas, apresenta um par de cada tipo de autossomo e um par de cromossomos sexuais. Nas células femininas, o par sexual é composto por dois cromossomos denominados X; nas células masculinas, estão presentes um cromossomo X e um cromossomo Y.

Os gametas femininos da espécie humana têm 23 cromossomos, sendo 22 autossomos (um de cada par) e um cromossomo X. Os espermatozoides humanos também têm 23 cromossomos, sendo 22 autossomos e um cromossomo sexual, o qual pode ser tanto o cromossomo X quanto o cromossomo Y. Cerca de metade dos espermatozoides produzidos por um homem apresenta um cromossomo X e a outra metade apresenta um cromossomo Y.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Quando um espermatozoide se une a um óvulo no momento da fecundação, os conjuntos cromossômicos dos gametas juntam-se na primeira célula do novo organismo, a qual é denominada **zigoto**. Na espécie humana, o zigoto tem 23 cromossomos provenientes da mãe e 23 provenientes do pai.

A determinação do sexo de um novo indivíduo ocorre no momento da fecundação: se um espermatozoide portador de um cromossomo X fecundar um óvulo (sempre portador de um X), o zigoto será do sexo feminino (XX); se o espermatozoide apresentar um cromossomo Y, o zigoto será do sexo masculino (XY).

Pouco antes de se dividir, o zigoto duplica os cromossomos provenientes dos gametas; ao final da primeira divisão celular, cada célula-filha receberá réplicas exatas dos 46 cromossomos recebidos dos dois genitores.

Os representantes de cada tipo de cromossomo de uma célula originada do zigoto, um herdado do pai e outro da mãe, são chamados **cromossomos homólogos** (do grego *homoios*, igual, semelhante). (Fig. 6.5)

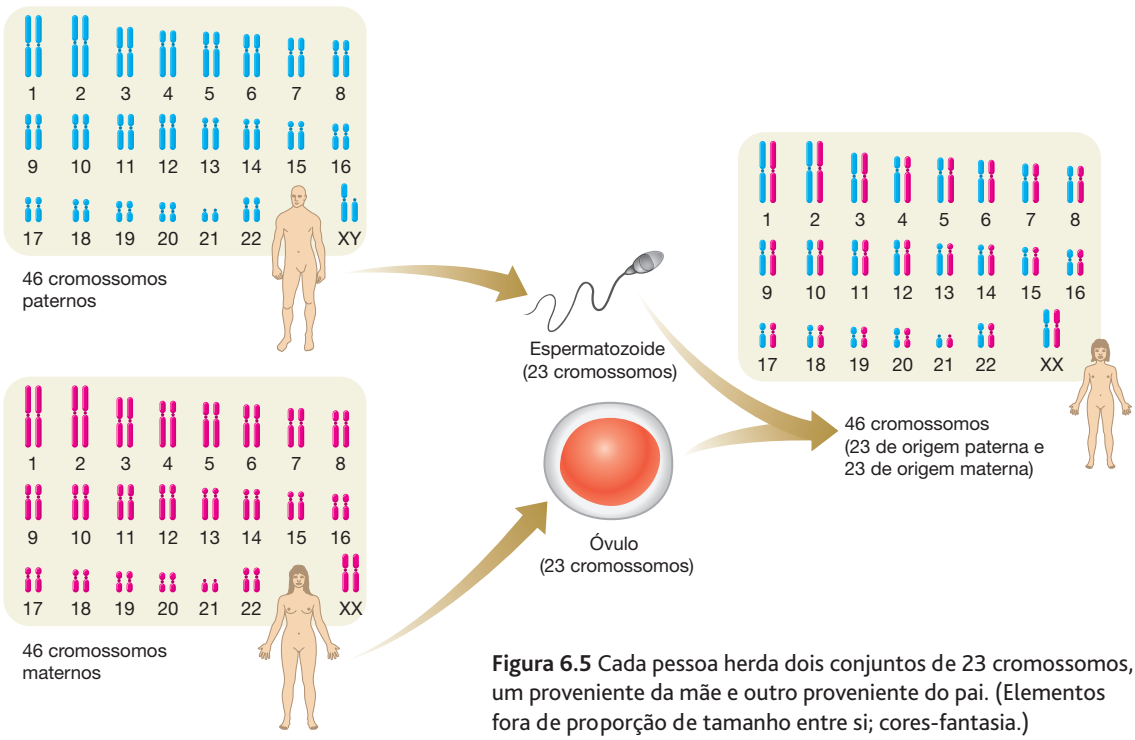


Figura 6.5 Cada pessoa herda dois conjuntos de 23 cromossomos, um proveniente da mãe e outro proveniente do pai. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Células diploides e células haploides

O zigoto e as células somáticas que dele descendem têm pares de cromossomos homólogos e por esse motivo recebem o nome de **células diploides** (do grego *diplos*, duplo), representadas por **2*n***. Células que apresentam apenas um lote de cromossomos, como os gametas humanos, são chamadas de **células haploides** (do grego *haplos*, simples) e representadas por ***n***.

Cromossomos de um par de homólogos são morfologicamente indistinguíveis: têm o mesmo tamanho, a mesma forma e genes equivalentes, localizados nas mesmas posições relativas no filamento cromossômico. Por exemplo, se em determinado local de um cromossomo houver um gene com a informação para produzir determinada proteína, em seu homólogo, no local correspondente, haverá um gene com uma informação idêntica ou muito parecida.

Citogenética humana

A Citogenética humana, ramo da Biologia que estuda os cromossomos humanos, é uma especialidade relativamente nova. Para se ter ideia, apenas em 1956 ficou definitivamente demonstrado que tanto homens quanto mulheres têm 46 cromossomos nas células. Atualmente, os cientistas têm condições de identificar pessoas com problemas cromossômicos e prever o risco de seus filhos virem a ser afetados por certas doenças hereditárias. Esses procedimentos fazem parte de um ramo da Genética denominado **aconselhamento genético**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Um aspecto importante a discutir com os estudantes é por que, em fotos e representações de cromossomos, eles geralmente aparecem duplicados. A resposta a essa pergunta encontra-se neste item, relativo às técnicas de preparação de cariogramas. Para a obtenção de cromossomos bem separados e em máximo grau de condensação, a fase ideal para observá-los é a metáfase da divisão celular, quando estão duplicados.

A técnica mais empregada para o estudo dos cromossomos humanos baseia-se no cultivo de linfócitos em tubo de ensaio. O linfócito é um dos tipos de glóbulos brancos presentes em nosso sangue. Linfócitos isolados do sangue são colocados em um frasco com solução nutritiva, à qual se adiciona fitoemaglutinina, uma substância de origem vegetal que induz os linfócitos a se dividirem.

Depois de alguns dias, junta-se ao frasco de cultivo colchicina, substância também de origem vegetal que bloqueia a divisão celular no estágio em que os cromossomos estão mais condensados, facilitando sua observação. Algumas horas depois da adição de colchicina, acrescenta-se ao frasco de cultivo uma solução hipotônica (relembre o conceito de osmose no capítulo 5), o que faz os linfócitos incharem.

Quando gotas da solução contendo linfócitos são pingadas a uma certa distância sobre lâminas de vidro para microscopia, as células inchadas arrebentam e liberam os cromossomos. Estes aderem à lâmina e podem, então, ser corados e examinados ao microscópio fotônico.

Ao observar a lâmina ao microscópio, o pesquisador escolhe um conjunto completo de cromossomos e o fotografa. Os cromossomos são separados na fotografia e organizados por ordem decrescente de tamanho e de acordo com a posição dos centrômeros. Essa montagem fotográfica é chamada de **cariograma**. (Fig. 6.6)

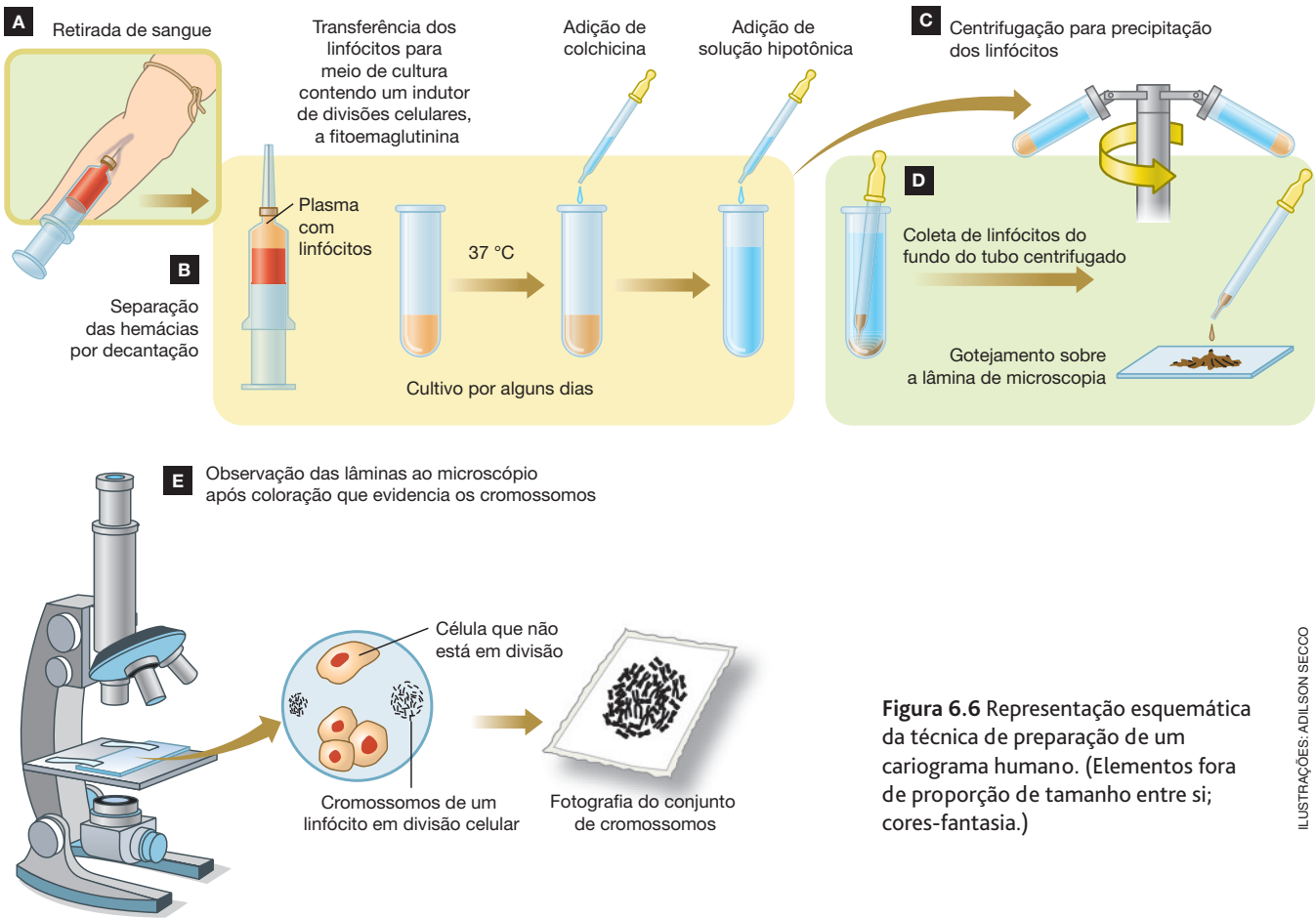


Figura 6.6 Representação esquemática da técnica de preparação de um cariograma humano. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

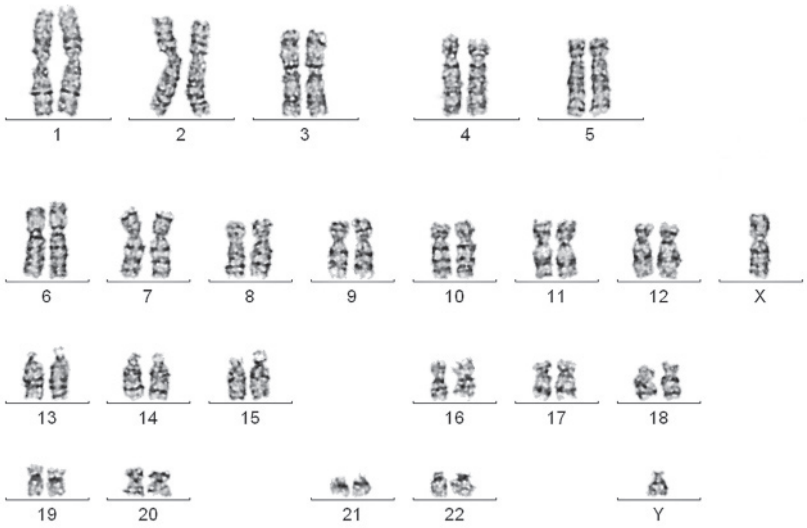
O cariótipo humano

O conjunto de cromossomos de uma célula constitui seu **cariótipo** (do grego *karyon*, núcleo, e *typos*, forma). Na espécie humana, por exemplo, os cariótipos de homens e de mulheres diferem quanto ao par de cromossomos sexuais. Como vimos, nas mulheres esse par é composto por dois cromossomos morfologicamente idênticos, os cromossomos X. Nos homens, o par de cromossomos sexuais é composto por um cromossomo X e um cromossomo Y. Cariótipos normais de homem e de mulher costumam ser escritos como se vê a seguir:

Cariótipo da mulher: 22AA + XX ou 46, XX

Cariótipo do homem: 22AA + XY ou 46, XY

Alguns cromossomos humanos são facilmente identificados pelo tamanho e pela forma; outros, porém, são muito parecidos entre si, sendo praticamente indistinguíveis quanto à morfologia. Quando os cientistas submetem preparações citológicas de cromossomos a certos tratamentos especiais, são produzidas faixas transversais típicas de cada tipo cromossômico. Assim, esses tratamentos permitem identificar, pelo padrão de faixas produzidas, cada um dos 23 pares de cromossomos do cariótipo humano. (Fig. 6.7)



PR. PHILIPPE VAGO, ISM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 6.7 Cariograma obtido de fotomicrografia de cariótipo humano masculino normal. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 1.500×; cores artificiais.) As faixas transversais típicas de cada cromossomo são obtidas por tratamento químico especial. O padrão de faixas permite identificar os diferentes tipos cromossômicos.

Ciência e cidadania

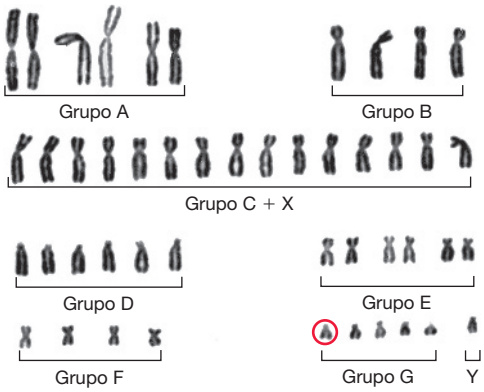
Alterações cromossômicas na espécie humana

1 Em várias espécies, inclusive na nossa, podem nascer indivíduos com alterações cromossômicas em relação ao cariótipo normal. Essas alterações geralmente causam transtornos no funcionamento celular, levando a doenças graves ou mesmo à morte.

2 Certas alterações afetam a estrutura de um ou mais cromossomos, sendo, por isso, denominadas **alterações estruturais**; se, por exemplo, um cromossomo perde um pedaço, ocorre o que se denomina deleção; se cromossomos não homólogos trocam pedaços, temos a chamada translocação. Alterações decorrentes de erros no processo de divisão celular e que afetam o número de cromossomos da célula são conhecidas como **alterações numéricas**.

Síndrome de Down

3 Uma das alterações cromossômicas numéricas bem estudadas na espécie humana é a **trissomia do cromossomo 21**, assim chamada porque as células da pessoa possuem não apenas um par do cromossomo designado pelo número 21, como seria normal, mas três exemplares desse cromossomo. Pessoas com essa alteração cromossômica podem apresentar uma série de características típicas – atraso no desenvolvimento mental, hipotonia (fraqueza) muscular, baixa estatura, anomalias cardíacas, olhos com fendas palpebrais oblíquas, o que lhes confere um aspecto amendoado, prega única nas palmas das mãos, entre outras. Esses traços clínicos caracterizam a **síndrome de Down**.



PROF. ANGELA MORGANTE/IBUSP

Cariograma de pessoa do sexo masculino com síndrome de Down. O cromossomo 21 extranumerário está destacado pelo círculo vermelho. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 1.100×.)

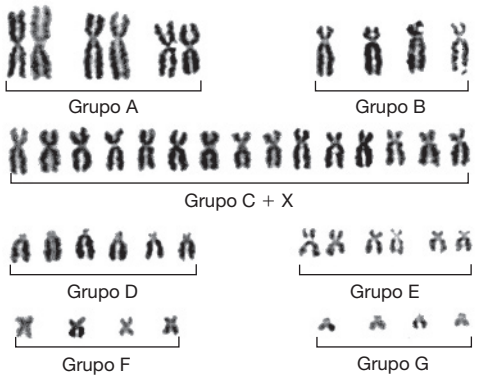
4 Graças aos avanços na compreensão da síndrome, as pessoas com Down têm sido cada vez mais bem acolhidas na sociedade. Os pais de crianças nascidas com a trissomia do cromossomo 21 devem procurar ajuda especializada tão logo a síndrome seja diagnosticada; sabe-se que a estimulação física e mental precoce melhora o desenvolvimento neuromuscular e a capacidade de comunicação de crianças com essa síndrome.

Síndrome de Turner e síndrome de Klinefelter

5 Outros exemplos de alteração no número de cromossomos na espécie humana são a síndrome de Turner e a síndrome de Klinefelter.

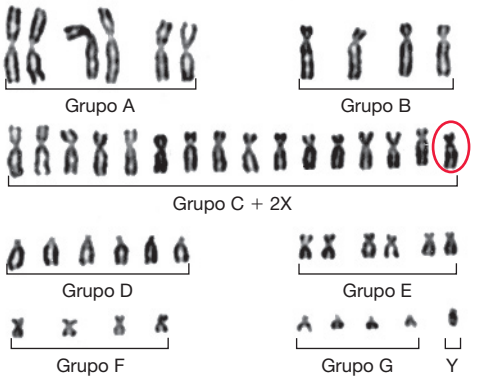
6 A pessoa com **síndrome de Turner** tem apenas um cromossomo sexual (monossomia), o cromossomo X, e é do sexo feminino. As principais características dessa síndrome são baixa estatura, problemas no desenvolvimento dos órgãos genitais, infertilidade e, em alguns casos, atraso mental leve e desenvolvimento de pregas de pele nos lados do pescoço (pescoço alado).

7 A pessoa com **síndrome de Klinefelter** tem três cromossomos sexuais, sendo dois X e um Y, e é do sexo masculino. As principais características dessa síndrome são problemas no desenvolvimento dos órgãos genitais, geralmente acompanhados de infertilidade e retardo mental leve.



PROF. ANGELA MORGANTE/IBUSP

Cariograma de pessoa com síndrome de Turner, que é sempre do sexo feminino. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 1.050×.)



PROF. ANGELA MORGANTE/IBUSP

Cariograma de pessoa com síndrome de Klinefelter, que é sempre do sexo masculino. No círculo vermelho, o cromossomo X extranumerário. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 1.150×.)

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1 Leia apenas o título do quadro. Há alguns anos, ele poderia ter sido "Aberrações cromossômicas da espécie humana", uma vez que, no jargão da Genética, alterações do cariótipo são denominadas aberrações. Entretanto, o termo tem conotação depreciativa e, por isso, convém não utilizá-lo para se referir à espécie humana. Escreva um comentário a respeito desse assunto.

2 Leia agora o primeiro e o segundo parágrafos do quadro. Certifique-se de ter compreendido a distinção entre alterações cromossômicas estruturais e alterações numéricas.

3 Leia o terceiro parágrafo, referente à síndrome de Down, e responda: o que caracteriza a síndrome do ponto de vista cromossômico? Observe o cariótipo correspondente e identifique o cromossomo 21 extranumerário. Informe-se, no parágrafo, sobre as principais características físicas apresentadas por pessoas com síndrome de Down.

4 Leia o quarto parágrafo do quadro, que aborda um importante aspecto de cidadania: a inclusão social de pessoas com características especiais, como as que estamos estudando. Você já teve algum contato com pessoas com síndrome de Down? Informe-se sobre a inclusão dos portadores da síndrome de Down nos diversos setores da sociedade e escreva um texto opinativo sobre o assunto.

5 Nos parágrafos 5, 6 e 7 são apresentadas duas outras síndromes cromossômicas humanas: a de Turner e a de Klinefelter. O que caracteriza cada uma dessas síndromes do ponto de vista cromossômico? Observe as figuras correspondentes e localize os cromossomos em questão. Informe-se, nos parágrafos 6 e 7, sobre as principais características físicas de pessoas com síndromes de Turner e Klinefelter, respectivamente.

6.3 Dividir para multiplicar: a divisão celular

No momento em que você lê este texto, milhões de células de seu corpo estão se reproduzindo. Na pele, células multiplicam-se continuamente, substituindo as camadas celulares mais externas, que vão morrendo e descamando. No interior de certos ossos, há células em contínua multiplicação que originam glóbulos brancos e hemácias do sangue. Cabelos e unhas crescem pela incessante multiplicação de células presentes no folículo piloso e na base ungueal, respectivamente.

A reprodução celular, apesar de corriqueira, é uma empreitada fantástica, quando analisada nos níveis nanoscópico e microscópico. Primeiramente, cada uma das longas moléculas de DNA que constituem os cromossomos precisa passar por uma rigorosa duplicação. Depois de duplicados, os cromossomos devem separar-se e distribuir-se corretamente para as células-filhas. Imagine os desafios desse empreendimento: em nossas células, os 46 cromossomos totalizam mais de 2 metros de finíssimos fios emaranhados (relembre o conceito de cromatina). Eventuais erros na distribuição dos cromossomos costumam causar problemas no funcionamento do organismo, em decorrência da importância dos genes para o metabolismo.

Estimule o estudante a pensar que seu próprio corpo é resultado de divisões celulares e que elas ocorrem a todo instante, gerando novas células para substituir as que morrem.

O ciclo celular

O período que vai do surgimento de uma célula por divisão até que a própria célula se divida em duas é denominado **ciclo celular**. Esse ciclo costuma ser dividido em duas etapas: a interfase e a divisão celular. (Fig. 6.8)

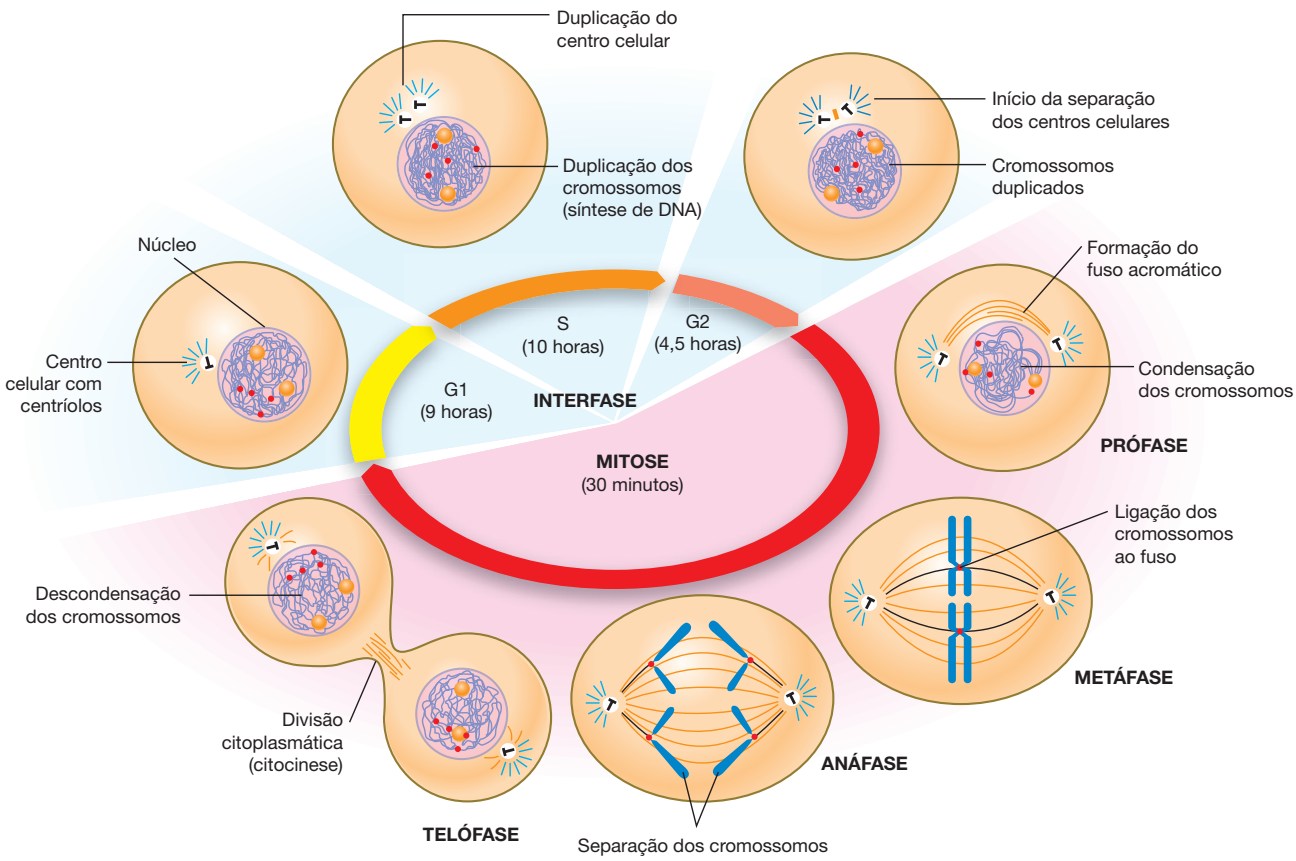


Figura 6.8 Representação esquemática do ciclo celular. Note, no círculo central, que as áreas de cada fase do ciclo celular não correspondem aos respectivos tempos de duração mostrados entre parênteses. Em um ciclo celular de 24 horas, a mitose representa pouco mais de 30 minutos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Interfase é o período entre duas divisões celulares consecutivas. A **divisão celular**, por sua vez, compreende dois processos: mitose (duplicação do núcleo) e citocinese (divisão do citoplasma). Em geral, a mitose e a citocinese duram menos de 1 hora, o que corresponde a cerca de 5% da duração total do ciclo celular. Nos outros 95% do tempo, a célula está em interfase.

O período de interfase é subdividido em três fases: **G1**, **S** e **G2**. A sigla S deriva da palavra inglesa ***synthesis***, em referência à síntese de DNA, que ocorre durante a fase S, quando a quantidade de DNA do núcleo é duplicada. As siglas G1 e G2 derivam da palavra inglesa ***gap*** (intervalo) e designam os momentos anterior (G1) e posterior (G2) à duplicação do DNA. (Fig. 6.9)

OSVALDO SEQUETIN

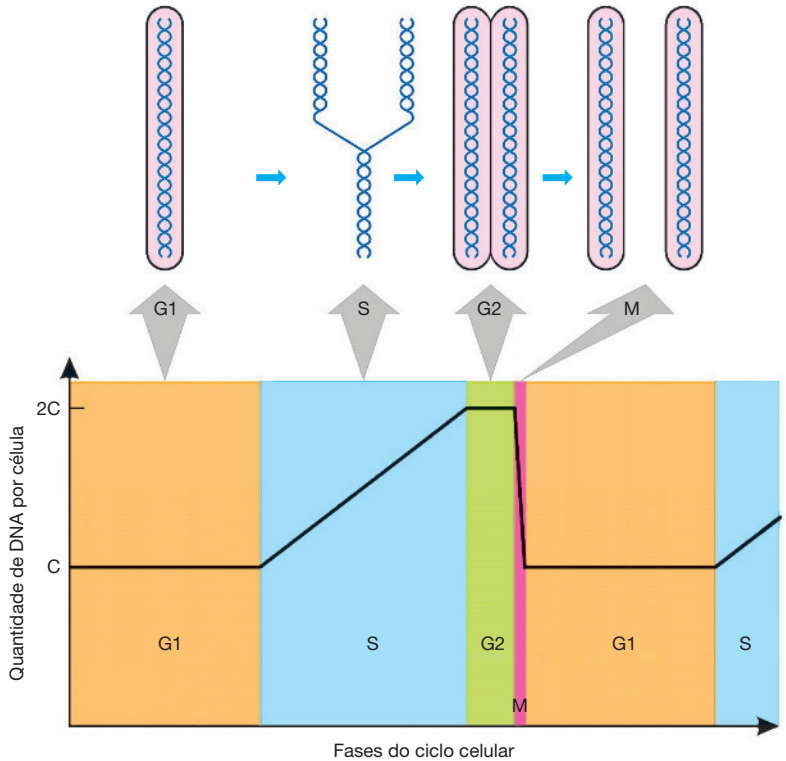


Figura 6.9 Acima, representação esquemática da relação entre DNA e cromossomos nas diversas fases do ciclo celular. Em G1 cada cromossomo contém apenas uma molécula de DNA; em S ocorre a duplicação do DNA; em G2, o cromossomo está constituído por duas cromátides-irmãs, cada uma contendo uma molécula de DNA; as cromátides-irmãs separam-se na mitose (M). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) Embaixo, gráfico da variação da quantidade de DNA em uma célula durante o ciclo celular.

Mitose

Em um aparente paradoxo, na "matemática" celular dividir é igual a multiplicar. Por quê? Quando uma célula se divide, ela origina duas células-filhas geralmente com metade do tamanho da célula genitora. Entretanto, cada nova célula tem potencial para crescer e originar uma célula típica da linhagem a que pertence, uma vez que recebeu um conjunto completo de genes. Isso é possível porque os cromossomos e genes duplicam-se antes de a célula se dividir.

Como vimos, a duplicação dos cromossomos ocorre no período S da interfase. Depois que a duplicação se completa, há a fase G2 e em seguida a célula inicia a mitose.

O termo **mitose** deriva da palavra grega *mitos*, que significa "filamento", referindo-se ao fato de os cromossomos, durante o processo, tornarem-se cada vez mais espessos.

A mitose de uma célula humana costuma durar de 30 a 60 minutos, desde o início da condensação cromossômica até a formação dos dois núcleos-filhos. Ao longo da mitose, ocorrem eventos marcantes, escolhidos pelos cientistas para dividir esse processo em quatro fases: prófase, metáfase, anáfase e telófase.

Prófase

Durante a interfase, os cromossomos estão descondensados e são tão finos que não podem ser visualizados individualmente, mesmo com os melhores microscópios fotônicos.

A **prófase** (do grego *pro*, antes, em frente) caracteriza-se pela condensação dos cromossomos, que se tornam mais curtos e grossos, podendo ser visualizados individualmente ao microscópio fotônico. Ao se condensar, os cromossomos encurtam e, desse modo, separam-se mais facilmente e podem se distribuir corretamente para as células-filhas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O cromossomo condensado torna-se inativo, pois a compactação geralmente impede a produção de moléculas de RNA a partir do DNA. Isso explica por que os nucléolos desaparecem durante a prófase: ao se condensar, a região cromossômica que organiza o nucléolo deixa de produzir RNA ribossômico, seu principal componente.

Outro evento característico da prófase é a formação do **fuso mitótico** ou **fuso acromático**, um conjunto de microtúbulos orientados de um polo a outro da célula e cuja função é capturar e distribuir os cromossomos para as células-filhas.

A formação do fuso mitótico inicia-se com a separação dos centrossomos, duplicados na fase S da interfase, para polos opostos da célula. Em sua migração, os centrossomos vão orientando a organização de microtúbulos entre os dois polos celulares, formando fibras. Nas células animais, os microtúbulos se organizam também ao redor de cada centrossomo, originando uma estrutura denominada **áster**, ausente em células vegetais. (Fig. 6.10)

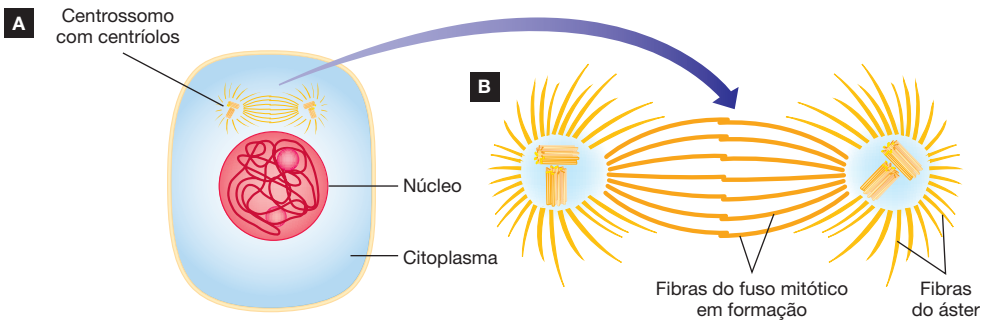


Figura 6.10 A. Representação esquemática de uma célula animal em início de prófase, com o fuso mitótico em formação. **B.** Em maior aumento, organização geral do fuso, com fibras entre os centros celulares e fibras do áster ao redor de cada um deles. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Ao final da prófase, a carioteca se fragmenta em pequenas bolsas e os cromossomos, já em grau avançado de condensação, espalham-se pelo citoplasma.

Metáfase

A **metáfase** (do grego *meta*, meio) sucede a prófase e é marcada pelo posicionamento dos cromossomos na região equatorial do fuso acromático. Microtúbulos provenientes dos centrossomos crescem e "fisgam" os cromossomos, capturando-os pelo **cinetócoro**, estrutura proteica presente na região do centrômero. Quando o cinetócoro de uma cromátide é capturado por microtúbulos ligados a um dos polos celulares, o cinetócoro da cromátide-irmã volta-se automaticamente para o polo oposto, sendo capturado por microtúbulos provenientes desse polo. Assim, as cromátides-irmãs de cada cromossomo prendem-se a polos celulares opostos.

Os cromossomos presos às fibras do fuso posicionam-se na região mediana da célula, constituindo a chamada **placa metafásica** ou placa equatorial. O termo metáfase refere-se justamente ao fato de os cromossomos se alinharem na região mediana da célula. (Fig. 6.11)

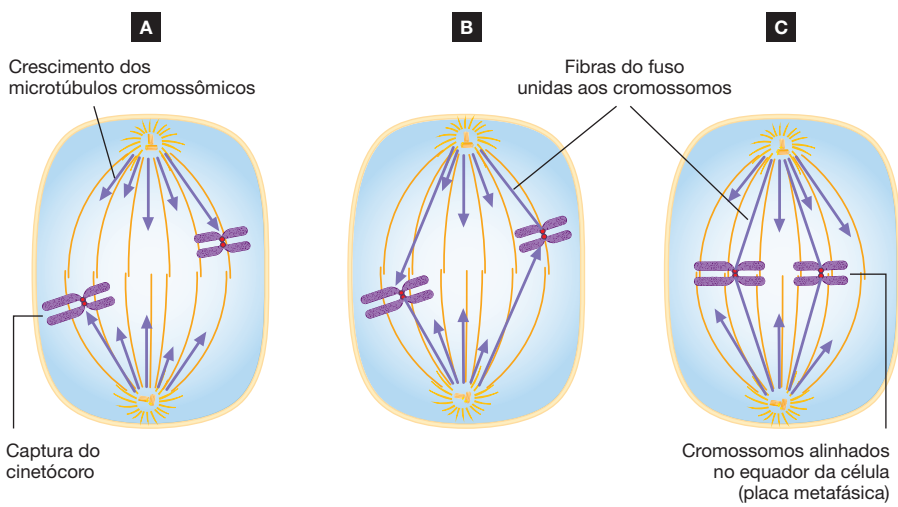


Figura 6.11 Representação esquemática do processo de união dos cromossomos ao fuso mitótico, com formação da placa metafásica. **A.** Captura dos cromossomos por microtúbulos de um dos polos. **B.** Ligação de microtúbulos do outro polo ao cinetócoro da cromátide-irmã. **C.** Alinhamento dos cromossomos, formando a placa metafásica. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: CANÇADO

Alguns autores denominam **prometáfase** o período que vai da ruptura da carioteca à formação completa da placa metafásica. Nesse caso, a metáfase corresponderia apenas ao período que vai do alinhamento dos cromossomos no equador da célula até o início de sua migração para polos opostos.

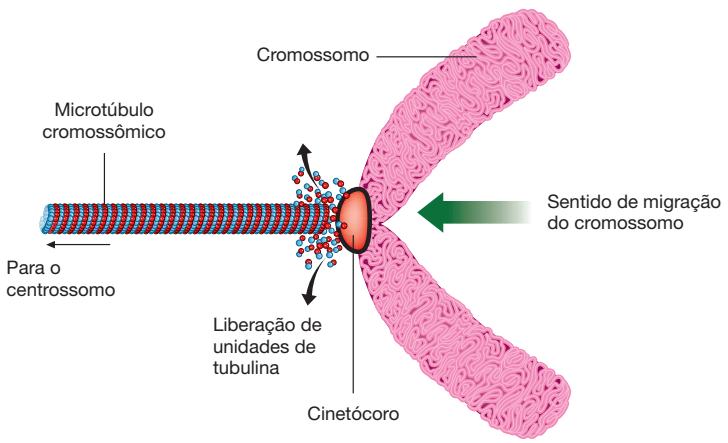
Certas drogas, como a colchicina e o colcemide, interferem na formação dos microtúbulos ao se ligarem às moléculas da proteína tubulina que os constituem. Em situações experimentais em que essas drogas são adicionadas ao meio de cultura das células ou injetadas em animais em estudo, a mitose prossegue normalmente até a metáfase, mas é interrompida porque os microtúbulos não conseguem se formar. Como veremos a seguir, são eles que puxam as cromátides para os polos opostos da célula.

Depois de algum tempo em contato com a droga, os cromossomos se descondensam e a carioteca se recompõe. O novo núcleo assim formado tem o dobro do número de cromossomos originalmente presentes na célula, pois houve duplicação cromossômica da interfase, mas não ocorreu separação das cromátides-irmãs para núcleos-filhos.

Anáfase

A prófase e a metáfase preparam a célula para um evento culminante da divisão: a separação das cromátides-irmãs, puxadas para polos opostos pelo encurtamento dos microtúbulos do fuso. Por isso, essa fase denomina-se **anáfase** (do grego *ana*, separação).

O encurtamento dos microtúbulos ligados aos cromossomos ocorre por desagregação controlada das moléculas constituintes dos microtúbulos, junto à região dos cinetócoros. Progressivamente, cada cromossomo é arrastado pelo centrômero em direção ao polo ao qual está ligado. A densidade do citoplasma celular pode ser percebida pelo formato flexionado dos cromossomos na anáfase, quando são arrastados pelos microtúbulos do fuso no citoplasma denso. Quando as cromátides-irmãs, chamadas de cromossomos-irmãos após a separação, chegam aos polos da célula, termina a anáfase. (Fig. 6.12)



CANÇADO

Figura 6.12 Representação esquemática do encurtamento dos microtúbulos, que faz os cromossomos serem puxados para os polos. Foi representado apenas um microtúbulo, em ampliação muito maior que a do cromossomo. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Muito raramente, ambas as cromátides de um cromossomo podem ligar-se por engano a microtúbulos de um mesmo polo, migrando juntas. Esse fenômeno, conhecido como **não disjunção cromossômica**, leva a um erro na distribuição dos cromossomos: uma das células-filhas fica com um cromossomo a mais, e a outra, com um cromossomo a menos.

Quando a não disjunção ocorre nas células germinativas que dão origem aos gametas ou no início do desenvolvimento embrionário, podem surgir malformações em um organismo.

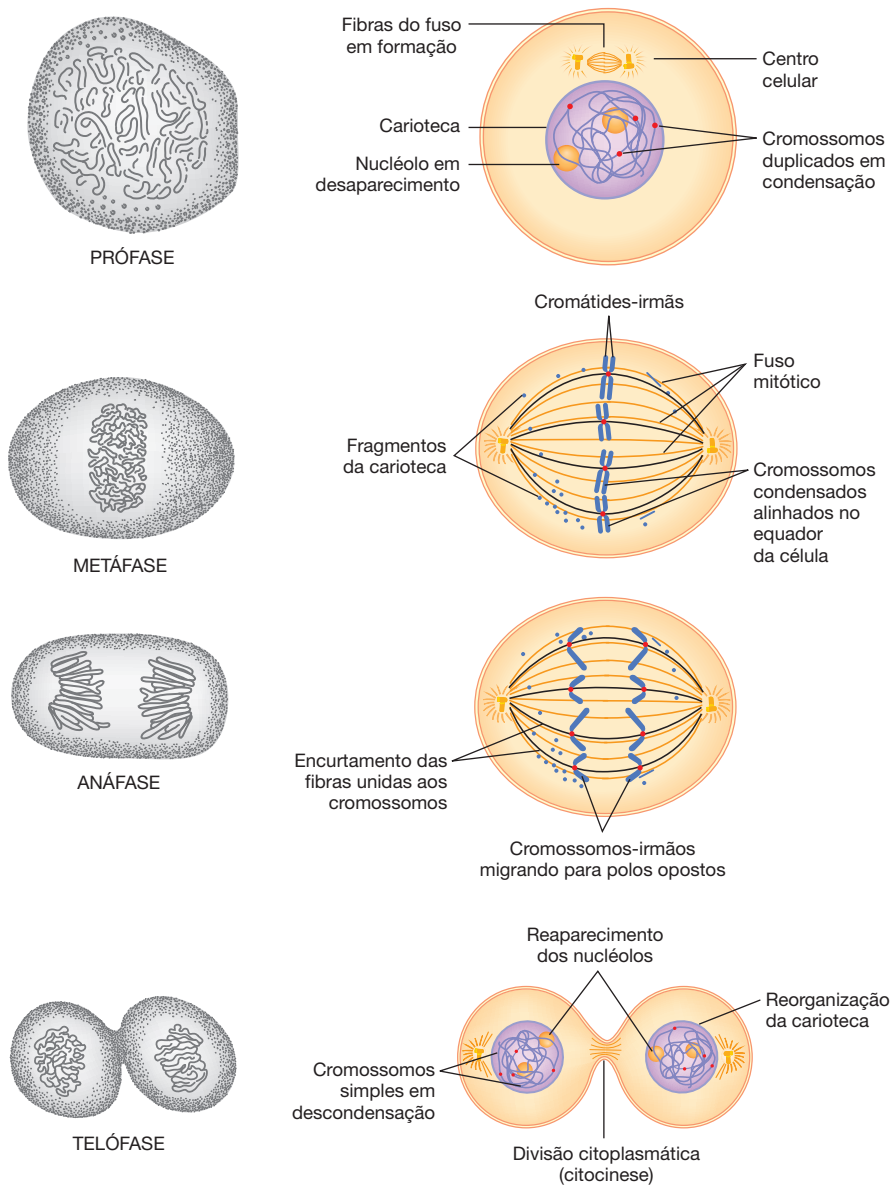
Telófase

Quando os cromossomos chegam aos polos celulares tem início a **telófase** (do grego *telos*, fim), última fase da mitose. Nela, os cromossomos se descondensam e novas cariotecas reorganizam-se ao redor de cada conjunto cromossômico separado, reconstituindo dois novos núcleos.

À medida que os cromossomos se descondensam, eles são envolvidos pelas bolsas membranosas resultantes da fragmentação da carioteca antiga, reconstituindo duas novas cariotecas. Com a descondensação, os cromossomos voltam progressivamente à atividade e retomam a produção de RNA ribossômico; consequentemente, os nucléolos reaparecem.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A divisão por mitose origina núcleos-filhos com o mesmo número e os mesmos tipos de cromossomos da célula-mãe. Células diploides (2*n*) originam, por mitose, duas células diploides. Células haploides (*n*) originam, por mitose, duas células haploides. (Fig. 6.13)



ILUSTRAÇÕES: CANÇADO

Figura 6.13 De cima para baixo, representação esquemática da sequência de fases da mitose. Os esquemas à direita representam fenômenos descobertos apenas com o emprego da microscopia eletrônica e de técnicas especiais de coloração. À esquerda, são reproduzidos os desenhos publicados em 1882 pelo citologista alemão Walther Flemming (1843-1905), considerado o descobridor da mitose. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

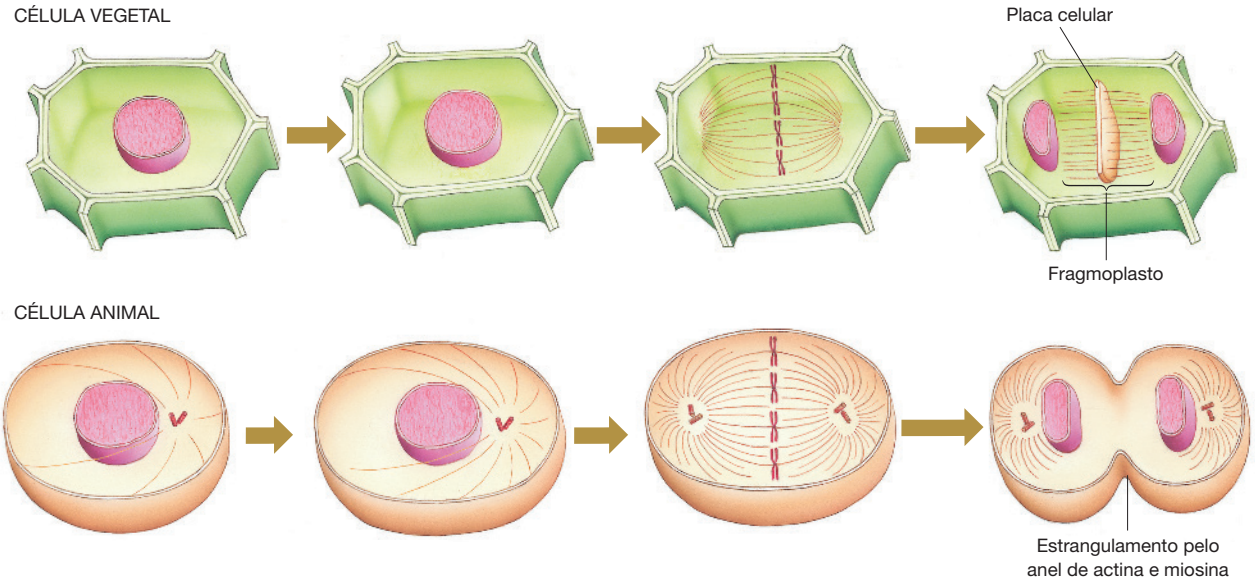
Citocinese

Durante a reorganização dos núcleos-filhos, os microtúbulos do fuso desagregam-se e inicia-se a **citocinese**, processo de divisão do citoplasma que leva à formação das duas células-filhas.

Em células animais e de protozoários, a citocinese ocorre por estrangulamento na região equatorial, causado por um anel de filamentos contráteis constituído pelas proteínas actina e miosina. Por se iniciar na periferia da célula e avançar para o centro, esse tipo de divisão citoplasmática é chamado **citocinese centrípeta**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Nas células das plantas, ao final da telófase, bolsas membranosas que contêm o polissacarídio pectina depositam-se na região equatorial da célula. Essas bolsas fundem-se umas às outras originando o **fragmoplasto**, uma placa que cresce do centro da célula para a periferia, até encostar na parede celulósica e separar as células-filhas. Por ocorrer do centro para a periferia, a divisão do citoplasma nas células vegetais recebe o nome de **citocinese centrífuga**. (Fig. 6.14)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 6.14 Representação esquemática em que se compara a divisão de uma célula animal com a de uma célula vegetal. Note a ausência do áster na célula vegetal e as diferenças no processo de citocinese. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Lodish, H. e cols., 2005.)

Ciência e cidadania

O que é câncer?

1 Durante a vida de um animal, as divisões celulares são rigorosamente controladas para garantir o bom funcionamento do organismo. Ao longo do desenvolvimento embrionário e das fases jovens da vida, as divisões celulares são intensas e os diversos órgãos se formam e crescem até atingir seu tamanho definitivo. Na fase adulta, o ritmo das divisões celulares diminui e elas passam a ocorrer apenas quando é necessário repor as células que morrem naturalmente ou em consequência de acidentes.

2 Entretanto, certas alterações genéticas podem danificar o sistema de controle da divisão celular, levando a célula a se multiplicar sem necessidade. Caso essa tendência de multiplicação incontrolada seja transmitida às células-filhas, surgirá um clone de células com propensão a se expandir indefinidamente: um **tumor**.

3 Um tumor pode ser constituído por células sem mobilidade, que ficam restritas ao local onde surgiram. Nesse caso, geralmente causa poucos problemas ao organismo e, por isso, é denominado **tumor benigno**. No entanto, alguns tipos de tumor têm células capazes de migrar e invadir tecidos vizinhos sadios: são os **tumores malignos** ou **cânceres**. Pelas circulações sanguínea e linfática, as células cancerígenas atingem diversas regiões do corpo, onde podem originar novos tumores. O processo de disseminação de um tumor é denominado **metástase**. Tumores malignos geralmente são prejudiciais ao organismo e, se não são tratados adequadamente, podem levar à morte.

4 Costuma-se classificar os tumores malignos em dois grupos: sarcomas e carcinomas. **Sarcomas** são provenientes de células originárias do mesoderma embrionário, enquanto **carcinomas** provêm de células originárias do ectoderma ou do endoderma. A leucemia é um tipo especial de sarcoma que atinge os glóbulos brancos do sangue.

5 Com exceção da leucemia, em que as células tumorais estão livres no sangue, os tumores são estruturas sólidas. Um tumor pode crescer até atingir cerca de 1 milhão de células, produzindo uma estrutura mais ou menos esférica com cerca de 2 milímetros de diâmetro. Nesse ponto, as células mais internas do tumor começam a ter um problema de nutrição, pois os nutrientes trazidos pelo sangue não chegam até elas. O esperado seria que essas células morressem e o tumor deixasse de crescer. Entretanto, a maioria dos tumores tem a capacidade de induzir a **angiogênese**, que é a formação de novos vasos sanguíneos. A descoberta de substâncias que bloqueiam a angiogênese tem sido motivo de otimismo entre os médicos, pois pode levar ao desenvolvimento de novos agentes terapêuticos para o combate ao câncer.

6 Mutações gênicas, perdas e duplicações de cromossomos (inteiros ou pedaços) ou quebras cromossômicas, entre outros tipos de alteração genética, podem levar uma célula normal a se transformar em uma célula cancerosa.

7 A teoria mais conservadora para a origem do câncer admite que, dependendo do tipo de tumor, uma célula se torna maligna depois de 3 a 20 mutações em uma sequência definida. Essas alterações ocorrem em duas classes principais de genes: **genes supressores de tumor** e **oncogenes**. Os primeiros produzem proteínas que impedem a progressão do ciclo celular quando há problemas. Os oncogenes estimulam as divisões celulares. Mutações nos genes supressores de tumor podem permitir a reprodução de células alteradas. Modificações nos oncogenes podem levar à divisão descontrolada das células.

8 Como exige diversas alterações, a formação de tumores é mais frequente em pessoas idosas. Uma pessoa de 70 anos de idade tem 100 vezes mais risco de ter um câncer que uma pessoa de 19 anos. Algumas vezes, a pessoa herda dos pais certas alterações genéticas que a tornam mais propensa a desenvolver tumores. Nesse caso, a manifestação da doença requer menos mutações na própria pessoa. Essa é uma das razões de certas famílias apresentarem maior incidência de alguns tipos de câncer.

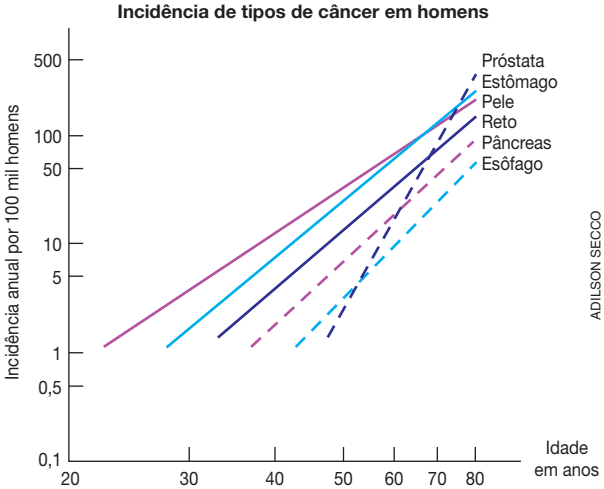
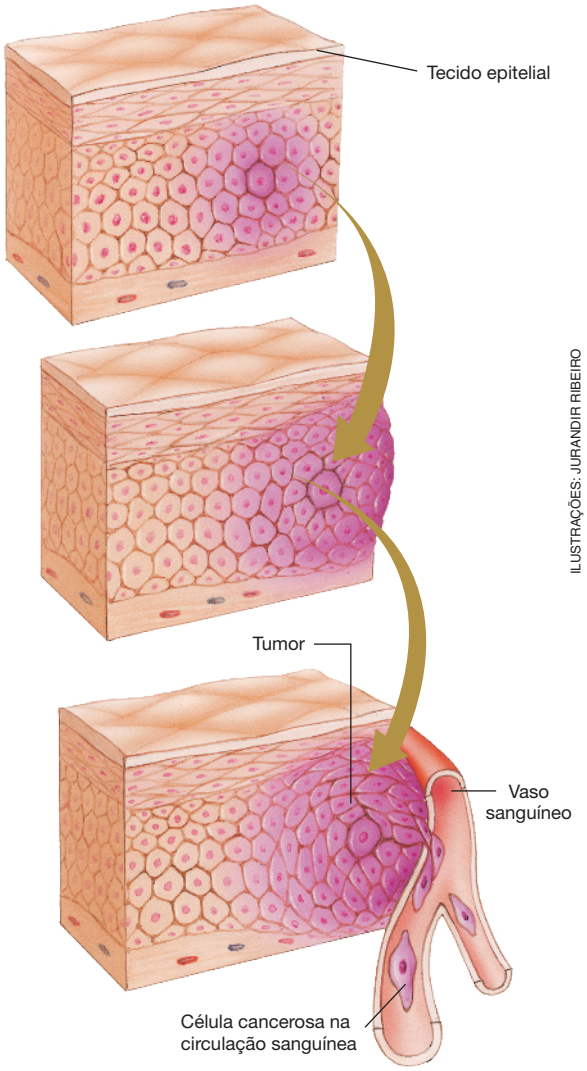


Gráfico que mostra a incidência de diversos tipos de câncer em homens em função da idade. Note que as taxas de incidência, assim como as idades, estão expressas em escala logarítmica; isso é necessário para representar o aumento drástico da incidência de câncer com o avanço da idade; por exemplo, a taxa de incidência do câncer de próstata é 500 vezes maior em homens com 80 anos do que em homens com 45 anos de idade. (Elaborado com base em Volgelstein, B. e Kinzler, K., 1993.)



Representação esquemática do desenvolvimento de um tumor maligno no tecido epitelial. O tumor estimula a angiogênese e libera células invasivas na circulação sanguínea. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1. Leia o primeiro parágrafo e resuma sua ideia central.
2. Leia o segundo parágrafo e explique o que é um tumor.
3. Com base na leitura do terceiro parágrafo, diferencie tumor benigno de tumor maligno e defina metástase.
4. Leia o quarto parágrafo. Que critério é utilizado para distinguir sarcoma de carcinoma?
5. No quinto parágrafo é apresentada uma "estratégia" dos tumores que atingem tamanho relativamente grande: a angiogênese. Explique o que isso significa.
6. Leia os parágrafos 6 e 7, que comentam as origens do câncer. Quais são os principais tipos de genes cujas mutações podem causar câncer?
7. Leia o oitavo e último parágrafo. Analise o gráfico que relaciona diversos tipos de câncer à idade. Alguns oncologistas costumam dizer que, se outras doenças fossem curadas, todos morreriam de câncer. Como você analisa essa afirmação baseando-se no que leu e no gráfico?
8. Estratégias bem-sucedidas na abordagem contra o câncer envolvem sua detecção e tratamento prematuros. Pesquise na internet campanhas preventivas contra o câncer de mama ou de próstata. Informe-se e organize, em grupo, uma campanha de divulgação a respeito disso; lembre-se de que esses assuntos são de grande interesse para toda a comunidade.

6.4 Cromossomos em ação: duplicação e transcrição gênicas

A estrutura molecular do DNA

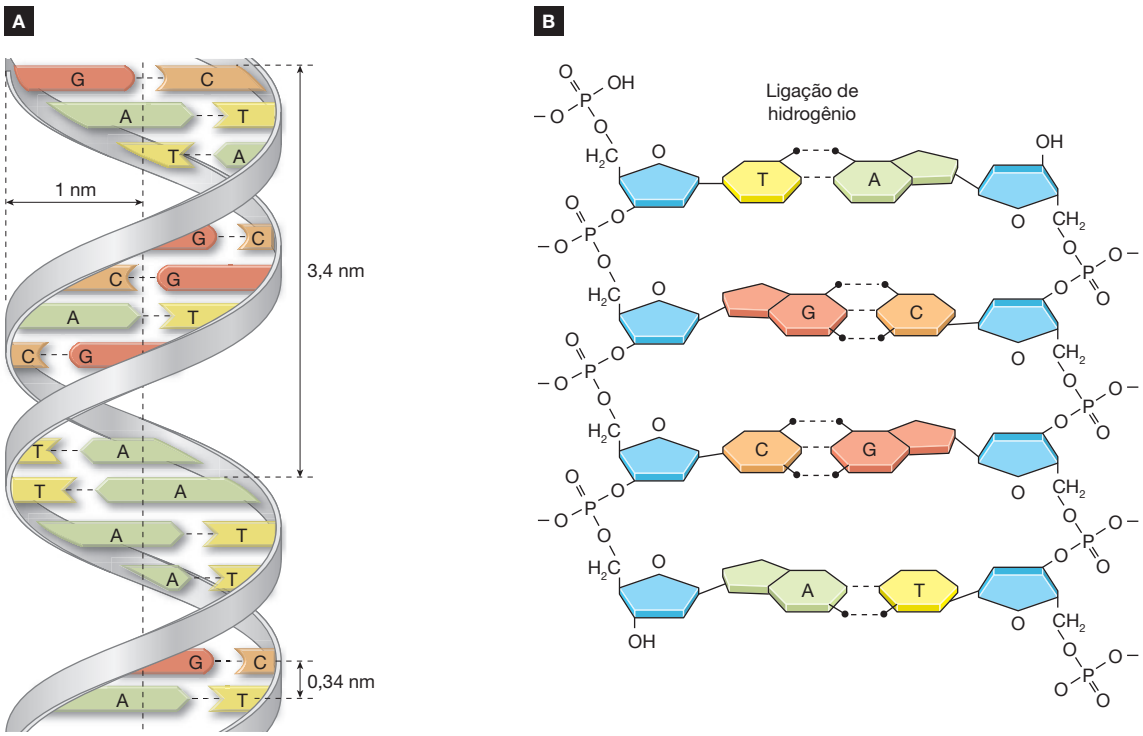
Como vimos, o constituinte fundamental do cromossomo é o **ácido desoxirribonucleico**, o **DNA** ou ADN, uma molécula longa e fina, com apenas 2 nm de espessura, mas que pode atingir alguns centímetros de comprimento. Ele é formado por dois filamentos paralelos e muito próximos, que se enrolam helicoidalmente no espaço lembrando a "espiral" de um caderno. Por apresentar dois filamentos paralelos em forma helicoidal, costuma-se dizer que a molécula de DNA é uma dupla-hélice.

Cada uma das cadeias do DNA é composta por milhares ou mesmo milhões de unidades moleculares – os **desoxirribonucleotídios** – unidos em sequência. Cada filamento do DNA é, portanto, o que os cientistas denominam cadeia polinucleotídica.

Um **nucleotídio** é constituído por três componentes quimicamente unidos: uma **base nitrogenada**, a pentose **desoxirribose** e um **fosfato**, íon negativo derivado de um ácido fosfórico. As bases nitrogenadas que compõem os desoxirribonucleotídios podem ser de quatro tipos: **adenina** (**A**), **guanina** (**G**), **citosina** (**C**) e **timina** (**T**). Os nucleotídios do DNA estão unidos entre si por ligações covalentes, que se estabelecem entre o grupo fosfato de um nucleotídio e a desoxirribose de outro.

As duas cadeias polinucleotídicas do DNA mantêm-se unidas por **ligações de hidrogênio** (ou pontes de hidrogênio), estabelecidas entre as bases nitrogenadas das cadeias. As ligações de hidrogênio ocorrem apenas entre pares de bases específicos, de tal modo que a base adenina se liga apenas à timina (**A** ⇔ **T**), enquanto a citosina se liga apenas à guanina (**C** ⇔ **G**). Assim, as duas cadeias da dupla-hélice do DNA são sempre complementares: se em uma delas houver um desoxirribonucleotídio com adenina, na posição correspondente da outra cadeia haverá um

com timina, e vice-versa. Se em uma das cadeias houver um desoxirribonucleotídio com guanina, na outra cadeia haverá um com citosina, e vice-versa. Por exemplo, se a sequência de bases em uma das cadeias do DNA for ATTGCATGCGCATTACG, a região correspondente da outra cadeia apresentará a sequência complementar TAACGTACGCGTAATGC. (Fig. 6.15)



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 6.15 A. Representação esquemática da estrutura do DNA, formado por duas cadeias dispostas helicoidalmente (dupla-hélice). **B.** Representação das ligações de hidrogênio entre as bases nitrogenadas que compõem duas cadeias de DNA; note as três ligações de hidrogênio entre as bases C e G e as duas entre A e T; por isso, costuma-se representar o par CG como C ≡ G e o par AT como A = T. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

A replicação semiconservativa do DNA

O modelo para a molécula de DNA, proposto originalmente em 1953 pelos pesquisadores James Watson (1928-) e Francis Crick (1916-2004), foi bem aceito porque, além de ser coerente com as propriedades físicas e químicas da molécula, explicava como ela se duplica, produzindo duas réplicas exatamente iguais. De acordo com o modelo de Watson e Crick, no momento da duplicação, as duas cadeias de uma molécula de DNA separam-se e cada uma delas orienta a formação de uma cadeia complementar. Essa forma de duplicar, amplamente confirmada em inúmeros experimentos, é conhecida como **replicação semiconservativa** do DNA; cada molécula resultante da duplicação conserva uma das cadeias originais da "molécula-mãe" e tem uma cadeia nova, complementar à que serviu de molde.

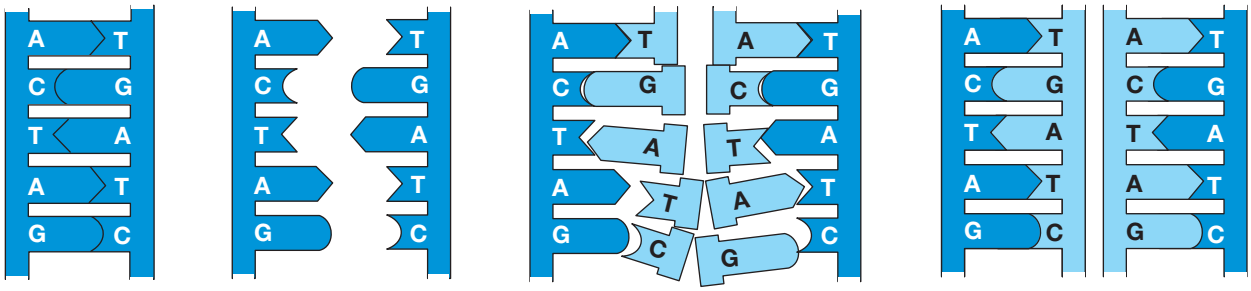
Neste momento, pode-se ressaltar a importância dos trabalhos de Watson e Crick, que sugeriram o modelo da dupla-hélice para o DNA, e também a participação de numerosos outros cientistas, entre eles Maurice Wilkins e Rosalind Franklin, cujos estudos de difração de raios X, na área da Física, foram fundamentais para a formulação do modelo da dupla-hélice do DNA.

O processo de duplicação do DNA é catalisado por diversas enzimas. Entre elas, destacam-se as **helicases**, que catalisam a quebra das ligações de hidrogênio entre as duas cadeias, fazendo com que elas se separem, e as **polimerases do DNA**, que orientam o emparelhamento de nucleotídios livres à cadeia-molde, além de catalisarem a união entre eles (polimerização).

À medida que as bases nitrogenadas de cada cadeia desemparelham-se de suas complementares por ação das helicases, a polimerase do DNA orienta o encaixe de desoxirribonucleotídios livres às cadeias originais, respeitando a regra de emparelhamento A ⇔ T e C ⇔ G. Os desoxirribonucleotídios, uma vez corretamente posicionados, vão se unindo entre si, originando uma cadeia polinucleotídica complementar à que serve de molde. Ao final do processo de duplicação, há duas moléculas de DNA idênticas, cada uma delas com uma cadeia da molécula original e uma cadeia nova recém-sintetizada a partir da união de desoxirribonucleotídios livres presentes na célula. (Fig. 6.16)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO



A. A molécula de DNA é constituída por duas cadeias polinucleotídicas unidas por ligações de hidrogênio entre suas bases nitrogenadas.

B. A primeira etapa no processo de duplicação do DNA, catalisada pelas helicases, é o rompimento das ligações de hidrogênio e a separação das duas cadeias.

C. Cada "cadeia antiga" serve de molde para a construção de uma "cadeia nova", determinando a ordem em que os nucleotídios devem se encaixar sobre ela. Esse processo, bem como a união subsequente dos nucleotídios, é catalisado pelas polimerases do DNA.

D. Os nucleotídios ordenados sobre a cadeia-molde unem-se entre si, formando uma nova cadeia complementar à antiga. Ao final do processo, são produzidas duas moléculas de DNA idênticas, cada uma delas constituída por uma "cadeia antiga" e por uma "cadeia nova".

Figura 6.16 Representação esquemática da duplicação do DNA.

A síntese de RNA: transcrição gênica

Como comentamos, sequências de bases nitrogenadas no DNA contêm informações codificadas que controlam praticamente todos os processos celulares. Essas informações são rigorosamente duplicadas e transmitidas com precisão de geração para geração pela duplicação semiconservativa do DNA. Resta, no entanto, responder à pergunta: como as informações contidas no DNA se manifestam, ou seja, como elas se transformam em ações efetivas no metabolismo celular?

Lembre-se de que, nas células eucarióticas, a maior parte do DNA permanece dentro do núcleo, onde faz parte dos cromossomos. Mas a produção de proteínas e a maior parte das atividades celulares ocorrem no citoplasma. Como o DNA pode "expressar" suas informações codificadas sem sair do núcleo? Isso ocorre por meio de moléculas de **ácido ribonucleico**, o **RNA** ou ARN, que agem como intermediárias e assessoras da manifestação das informações contidas no DNA nuclear.

O RNA também é constituído por nucleotídios unidos em sequência. Estes, contudo, diferem dos nucleotídios do DNA por apresentarem a pentose **ribose** em lugar da desoxirribose; as unidades constituintes do RNA são, portanto, **ribonucleotídios**. Três das quatro bases nitrogenadas presentes no RNA são idênticas às do DNA: **adenina (A)**, **guanina (G)** e **citosina (C)**. O RNA, no entanto, não apresenta a base timina; seu lugar é ocupado pela base **uracila (U)**. Outra diferença em relação ao DNA é que as moléculas de RNA, com poucas exceções, são constituídas por apenas uma cadeia polinucleotídica.

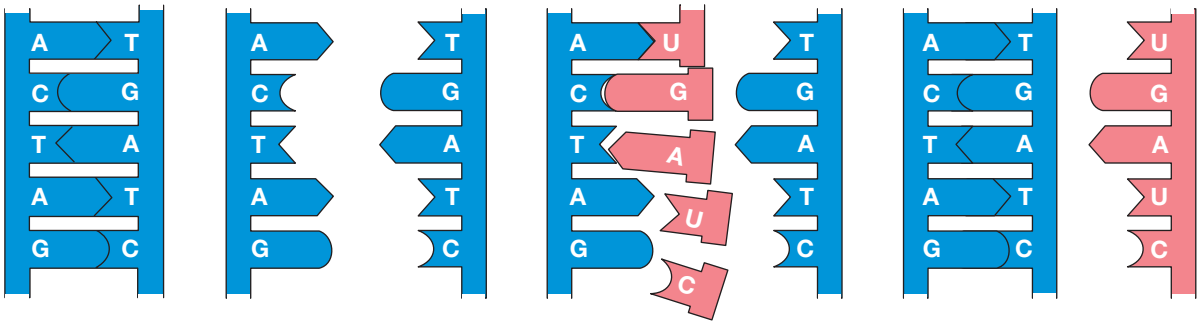
O DNA expressa-se transcrevendo suas informações para moléculas de RNA, que saem do núcleo e atuam em processos metabólicos citoplasmáticos, basicamente na síntese de proteínas.

A transcrição do RNA tem início com a separação das duas cadeias de certo segmento do DNA, processo catalisado pela enzima **polimerase do RNA**. À medida que separa as cadeias do DNA, essa enzima também orienta o emparelhamento de ribonucleotídios livres em uma das cadeias, que serve assim de molde para a síntese de RNA; a outra cadeia permanece inativa.

O emparelhamento dos ribonucleotídios livres à cadeia-molde de DNA obedece à seguinte regra: ribonucleotídios com uracila emparelham-se às adeninas da cadeia-molde de DNA (U ⇔ A); ribonucleotídios com adenina emparelham-se às timinas do DNA (A ⇔ T); ribonucleotídios com citosina emparelham-se às guaninas do DNA (C ⇔ G); e ribonucleotídios com guanina emparelham-se às citosinas do DNA (G ⇔ C).

À medida que o emparelhamento ocorre, os ribonucleotídios unem-se pela ação da polimerase, formando a cadeia de RNA. Ao final do processo, a molécula de RNA sintetizada liberta-se do DNA que comandou sua síntese, cujas duas cadeias voltam a se emparelhar, reconstituindo a dupla-hélice. (Fig. 6.17)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



A. A molécula de DNA é constituída por duas cadeias polinucleotídicas unidas por ligações de hidrogênio entre suas bases nitrogenadas.

B. A primeira etapa no processo de síntese de RNA é a separação das duas cadeias de DNA.

C. Uma das cadeias do DNA serve de molde para a formação do RNA, determinando a ordem em que os ribonucleotídios devem se unir. A outra cadeia do DNA permanece inativa, esperando o final do processo.

D. Os ribonucleotídios ordenados sobre a cadeia-molde unem-se, formando uma molécula de RNA complementar à cadeia de DNA. Ao final do processo, o RNA separa-se da cadeia-molde de DNA e esta volta a se unir à sua complementar, reconstituindo a dupla-hélice de DNA.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 6.17 Representação esquemática da síntese de RNA a partir do DNA.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A sequência de bases nitrogenadas do RNA reflete fielmente a sequência de bases da cadeia de DNA que serviu de molde. Por exemplo, uma cadeia de DNA formada pela sequência de bases TAGGCTAATGCTCGTA produz um RNA com sequência de bases AUCCGAUUACGAGCAU. Portanto, uma mensagem codificada em um gene do DNA é transcrita para o RNA. Por isso, a síntese de RNA é chamada de **transcrição gênica**.

6.5 O mecanismo da síntese de proteínas: tradução gênica

Tipos de RNA e suas funções

A função primordial das moléculas de RNA transcritas a partir do DNA é participar da síntese de proteínas. Lembre-se de que as proteínas definem a estrutura e o funcionamento das células e, portanto, do organismo como um todo.

Toda proteína é formada por uma ou mais cadeias polipeptídicas ou **polipeptídios**. Cada polipeptídio é uma longa cadeia filamentosa constituída por aminoácidos. Nos seres vivos há vinte tipos de aminoácidos, encadeados de diferentes maneiras nos polipeptídios.

A sequência de aminoácidos de uma cadeia polipeptídica é denominada **estrutura primária**. Dependendo da estrutura primária, a cadeia polipeptídica enrola-se, dobra-se e, não raro, une-se a outras cadeias polipeptídicas (ou mesmo a outras substâncias), originando a grande variedade de proteínas que constituem os seres vivos. Assim, a função biológica de cada proteína é determinada, em última análise, por sua estrutura primária.

Como a estrutura e o funcionamento de qualquer ser vivo dependem da natureza de suas proteínas, pode-se afirmar que o metabolismo celular é controlado pelo DNA, no qual se encontram as "receitas" para ordenar os aminoácidos, determinando assim a estrutura primária das proteínas.

O processo de síntese de proteínas é fundamentalmente semelhante em todos os seres vivos, o que representa mais uma evidência da evolução da vida e do parentesco entre as espécies biológicas. Os "atores" principais desse processo são três tipos de RNA: o RNA mensageiro, o RNA transportador e o RNA ribossômico.

RNA mensageiro (RNAm)

O **RNA mensageiro** (**RNAm**) é o portador da instrução para a estrutura primária de uma proteína. A sequência de nucleotídios do RNAm contém informação para o número e a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica. Essa informação, como vimos, está primariamente codificada na sequência de nucleotídios do DNA.

O sistema de codificação genética dos seres vivos é denominado **código genético**. Nele, uma trinca de nucleotídios do RNA mensageiro transcrito, e consequentemente do DNA, corresponde a um aminoácido no polipeptídio. Cada uma das trincas de bases nitrogenadas do RNAm codificadoras da proteína é denominada **códon**.

A linguagem genética é uma forte evidência de que o código genético se desenvolveu nos primórdios da vida e desde então se transmitiu de geração para geração. Conduza as discussões em sala de aula a fim de permitir que os alunos concluam que esse fato constitui uma evidência importante em favor da teoria da evolução biológica.

Como vimos, os nucleotídios do RNA podem ser de quatro tipos quanto às bases nitrogenadas, que são A, G, C e U. Combinando quatro tipos de nucleotídios em trincas, obtêm-se 64 códons diferentes. Faça as contas: um códon cuja primeira base é A pode ser de quatro tipos quanto à segunda base; cada combinação, por sua vez, pode ser de quatro tipos quanto à terceira base. Portanto, há 16 tipos diferentes de códons cuja primeira base é A. Como esse raciocínio é válido para os códons iniciados com cada uma das outras 3 bases, chega-se ao total de 64 códons diferentes (4×16).

Esses 64 códons são mais do que suficientes para codificar os 20 tipos de aminoácido que entram na composição das proteínas. Tanto é assim que diferentes códons correspondem a um mesmo aminoácido, ou seja, são "sinônimos" (veja na tabela a seguir). Há também três trincas que não correspondem a nenhum aminoácido e sua função é a "pontuação" da mensagem genética: elas indicam o fim da instrução contida no RNA mensageiro para a codificação de um polipeptídio. (Tab. 6.1)

TABELA 6.1 CÓDIGO GENÉTICO

Primeira base do códon	Segunda base do códon: U		Segunda base do códon: C		Segunda base do códon: A		Segunda base do códon: G		Terceira base do códon
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	pare*	UGA	pare*	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	pare*	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

Abreviatura dos aminoácidos:

Phe = fenilalanina	His = histidina
Leu = leucina	Gln = glutamina
Ile = isoleucina	Asn = aspargina
Met = metionina	Lys = lisina
Val = valina	Asp = ácido aspártico
Ser = serina	Glu = ácido glutâmico
Pro = prolina	Cys = cisteína
Thr = treonina	Trp = triptofano
Ala = alanina	Arg = arginina
Tyr = tirosina	Gly = glicina

* A palavra *pare* corresponde aos códons de parada.

Tabela 6.1 As letras da coluna azul correspondem às bases que ocupam a primeira posição na trinca. As letras da linha superior, vermelha, correspondem às bases que ocupam a segunda posição na trinca. As letras da coluna verde correspondem às bases que ocupam a terceira posição na trinca.

Somente dois aminoácidos – metionina e triptofano – são codificados por apenas uma trinca de bases; para todos os outros aminoácidos, há códons sinônimos, isto é, mais de uma trinca codificadora. Por isso, os geneticistas costumam dizer que o código genético é "degenerado". Três trincas "sem sentido" (UAA, UAG e UGA), chamadas códons "pare", sinalizam o fim da mensagem.

O código genético é universal, ou seja, é o mesmo em praticamente todos os seres vivos do planeta. Essa é mais uma evidência do parentesco evolutivo entre as diversas espécies biológicas e uma forte indicação de que o código genético atual foi estabelecido antes da diversificação da vida na Terra, estando presente no ancestral comum a todas as espécies hoje existentes. As exceções conhecidas à universalidade do código genético restringem-se ao significado de alguns códons em mitocôndrias e em genes nucleares de umas poucas espécies. Lembre-se de que as mitocôndrias e os cloroplastos são organelas com material genético; nelas, o DNA passa pelos mesmos processos que o DNA nuclear.

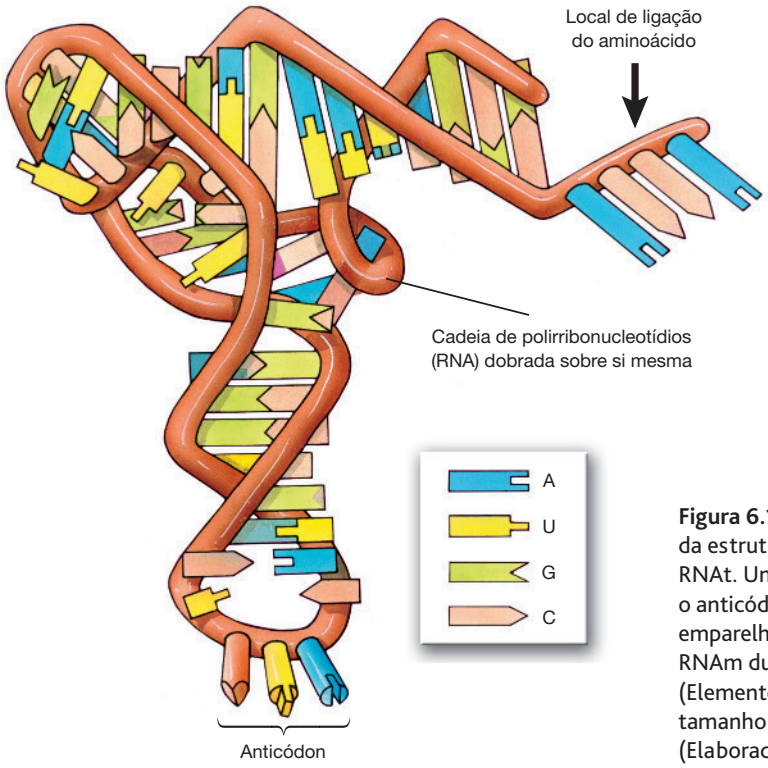
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

RNA transportador (RNAt)

No início da década de 1960, os cientistas suspeitaram que aminoácidos não conseguiriam "ler" diretamente os códons do RNAm. Aventou-se, então, a possibilidade de existirem moléculas especiais, capazes de acoplar os aminoácidos a seus respectivos códons no RNAm.

Logo se descobriu que havia moléculas de RNA capazes de reconhecer e interagir tanto com aminoácidos como com o RNAm. Elas foram chamadas **RNA transportadores** (**RNAt**), em referência ao seu papel de "transportar" os aminoácidos até seus respectivos códons no RNA mensageiro.

Os **RNA transportadores** (**RNAt**) são moléculas relativamente pequenas quando comparadas a outros tipos de RNA, sendo constituídas por cerca de 75 a 90 ribonucleotídios. As moléculas de RNAt dobram-se sobre si mesmas, adquirindo uma forma típica que lembra a de uma letra "L". Em determinada região da molécula, correspondente a uma das extremidades do "L", há uma trinca de bases nitrogenadas capaz de se emparelhar, por ligações de hidrogênio, ao códon complementar do RNAm; por isso, essa trinca é denominada **anticódon**. A extremidade da molécula do RNAt no outro braço do "L" é capaz de se ligar a um aminoácido específico, correspondente ao anticódon. (Fig. 6.18)



OSVALDO SEQUETIN

Figura 6.18 Representação esquemática da estrutura tridimensional de um RNAt. Uma trinca de bases especial, o anticódon, permite que o RNAt se emparelhe ao códon complementar do RNAm durante a síntese da proteína. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Rawn, J., 1989.)

Há dezenas de tipos de RNAt, capazes de se ligar especificamente aos vinte tipos de aminoácidos que constituem as proteínas. Essa ligação é mediada por enzimas, que reconhecem tanto o RNAt com determinado anticódon quanto o aminoácido correspondente àquele anticódon. Por exemplo, moléculas de RNAt com anticódon AAA ou AAG ligam-se sempre ao aminoácido fenilalanina; RNAt com anticódons CCA, CCG, CCU ou CCC ligam-se à glicina; e assim por diante.

RNA ribossômico (RNAr)

As moléculas de RNAt têm a função de capturar aminoácidos livres na célula e ordená-los sobre moléculas de RNAm de acordo com sua sequência de códons. Esse processo de acoplamento entre o RNAm e os RNAt ocorre em uma estrutura celular altamente especializada, o ribossomo.

Ribossomos são estruturas granulares citoplasmáticas constituídas por diversos tipos de proteína e por moléculas de um tipo especial de RNA, o **RNA ribossômico** (**RNAr**). Cada ribossomo é composto de duas partículas ou subunidades de diferentes tamanhos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O RNAm associa-se à subunidade menor do ribossomo. Os RNAt, cada qual unido ao seu respectivo aminoácido, unem-se à subunidade maior do ribossomo, a qual apresenta dois locais específicos conhecidos como sítio A e sítio P. Nessa subunidade maior, localiza-se a enzima peptidiltransferase, cuja função é catalisar a ligação peptídica entre os aminoácidos que se acoplam ao RNAm depois que eles se posicionam corretamente, de acordo com a sequência de códons. (Fig. 6.19)

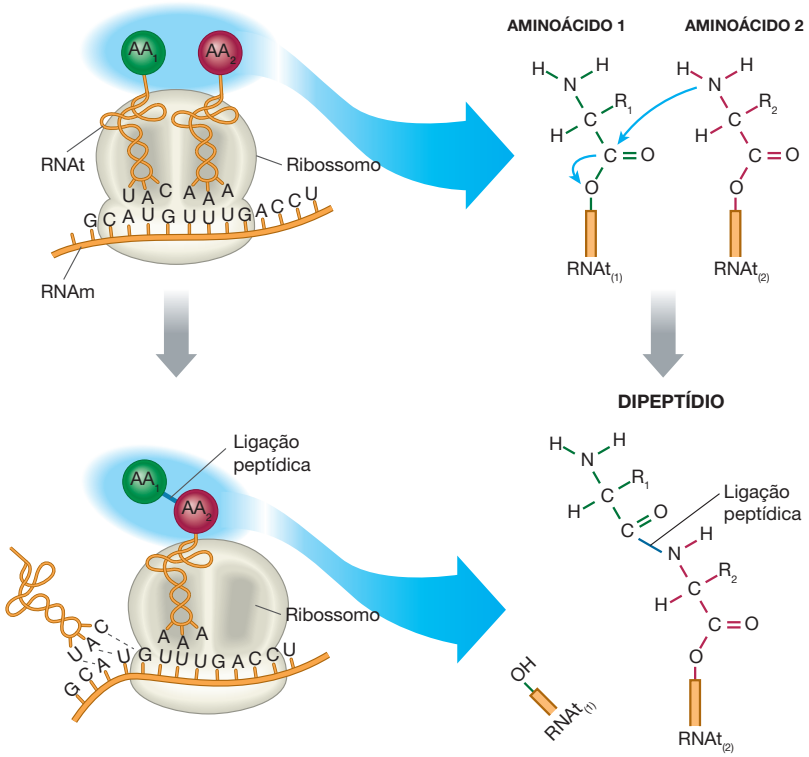


Figura 6.19 No lado esquerdo da ilustração, representação esquemática das etapas que levam à formação de uma ligação peptídica. Os dois aminoácidos trazidos por seus respectivos RNAt e posicionados sobre os códons do RNAm são unidos pela ação da enzima peptidiltransferase, presente no ribossomo. No lado direito, as fórmulas químicas dos aminoácidos que se unem. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

A síntese da cadeia polipeptídica

A síntese de uma cadeia polipeptídica consiste na união de aminoácidos de acordo com a sequência de códons do RNAm. Como essa sequência é determinada pela sequência de bases do DNA transcrita para o RNAm, a síntese de proteínas representa, em última instância, a "tradução" da informação genética, sendo, por isso, chamada **tradução gênica**. (Fig. 6.20)

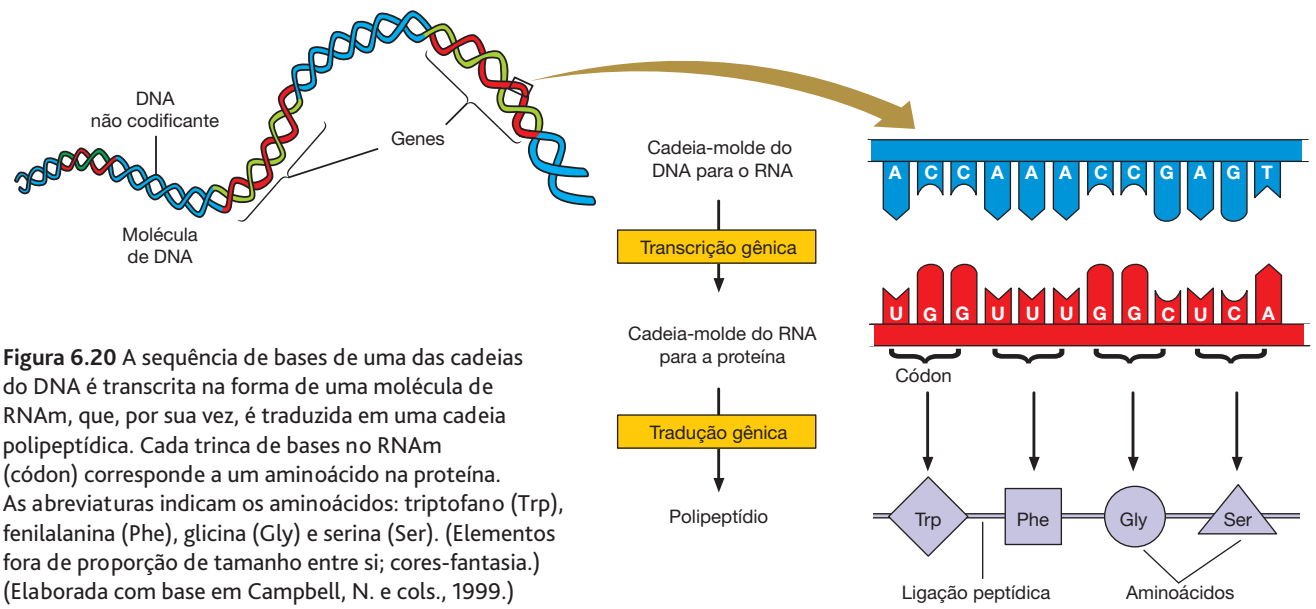


Figura 6.20 A sequência de bases de uma das cadeias do DNA é transcrita na forma de uma molécula de RNAm, que, por sua vez, é traduzida em uma cadeia polipeptídica. Cada trinca de bases no RNAm (códon) corresponde a um aminoácido na proteína. As abreviaturas indicam os aminoácidos: triptofano (Trp), fenilalanina (Phe), glicina (Gly) e serina (Ser). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No processo de tradução gênica participam, entre outros fatores, um ribossomo, um RNAm, vários RNAt, aminoácidos e diversas enzimas. O ribossomo encaixa-se em uma das extremidades do RNAm e se desloca percorrendo-o em direção à outra extremidade. À medida que esse deslocamento ocorre, os RNAt vão encaixando os aminoácidos na sequência definida pela ordem dos códons do RNAm. Dessa forma, a informação codificada pela sequência de bases do RNAm vai sendo traduzida na sequência de aminoácidos da proteína, isto é, em sua estrutura primária. Acompanhe, com mais detalhes, as principais etapas da tradução gênica.

Início da síntese da cadeia polipeptídica

A síntese de um polipeptídio tem início com a associação entre um ribossomo, um RNAm e o RNAt que transporta o aminoácido metionina. O anticódon da metionina é UAC, emparelhando-se ao códon AUG localizado perto da extremidade inicial da molécula de RNAm. Esse primeiro códon (AUG) de um RNAm é chamado de **códon de início de tradução**, uma vez que determina o início da informação para a cadeia polipeptídica.

Crescimento da cadeia polipeptídica

O local do ribossomo onde se encaixa o primeiro RNAt, correspondente ao códon de início de tradução, é chamado de **sítio P**; durante a síntese da proteína, ele será ocupado pelo RNAt que carrega a cadeia polipeptídica em formação. Junto ao sítio P do ribossomo, localiza-se o **sítio A**, no qual se aloja o RNAt que traz o próximo aminoácido a ser incorporado na cadeia polipeptídica.

Com o primeiro RNAt encaixado ao sítio P, o segundo RNAt aloja-se no sítio A. O anticódon desse segundo RNAt será complementar ao segundo códon codificador do RNAm, posicionado no sítio A. Por exemplo, se o códon do RNAm no sítio A for UUU, o RNAt que se encaixará tem anticódon AAA e transporta o aminoácido fenilalanina (Phe). (Fig. 6.21)

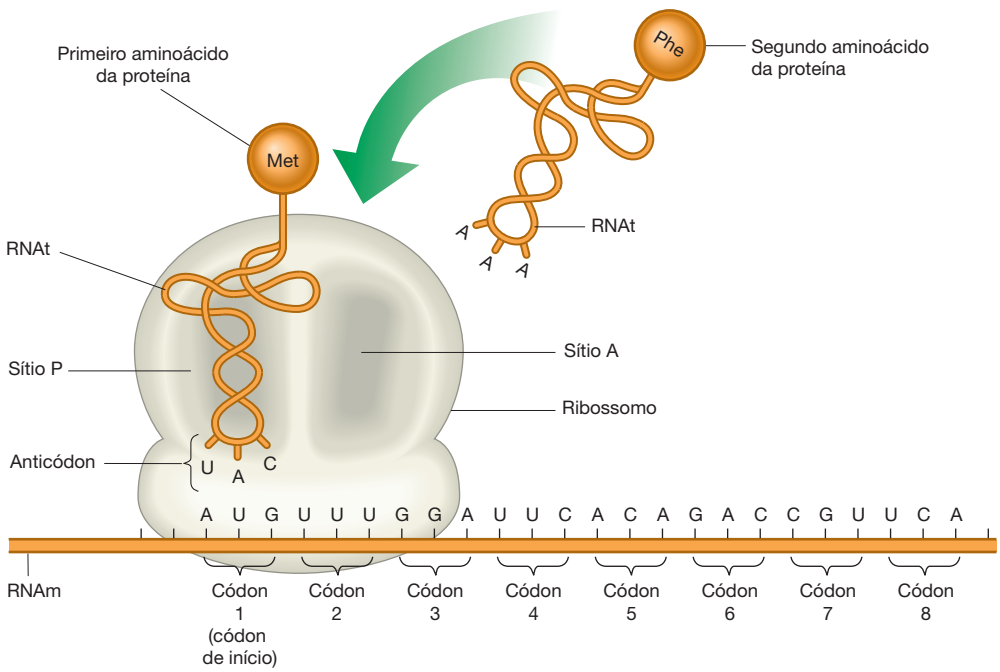


Figura 6.21 Representação esquemática do início da síntese de uma proteína. O ribossomo associa-se ao RNAm; o primeiro RNAt, transportando o aminoácido metionina, ocupa o sítio P. O segundo RNAt, transportando fenilalanina, ocupa o sítio A; os dois aminoácidos unem-se pela ligação peptídica. O ribossomo desloca-se uma trinca sobre o RNAm e o processo se repete. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

Assim que os dois primeiros RNAt se encaixam aos sítios P e A do ribossomo, ocorre a ligação entre os aminoácidos e o desligamento do primeiro RNAt do aminoácido que ele transportava. Com isso, o RNAt que transportava a metionina desprende-se do RNAm e abandona o ribossomo. Simultaneamente, o ribossomo desloca-se sobre a molécula de RNAm, dando um "passo" correspondente a uma trinca de bases. O RNAt que ocupava o sítio A passa a ocupar, então, o sítio P; esse RNAt transporta agora dois aminoácidos unidos por ligação peptídica (dipeptídio).

Com o deslocamento do ribossomo, o sítio A torna-se disponível para a entrada do próximo RNAt, que se encaixa ao terceiro códon da sequência codificadora do RNAm.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Novamente, o ribossomo catalisa a separação do dipeptídio do RNAt que ocupava o sítio P e sua ligação ao aminoácido recém-chegado, transportado pelo RNAt ocupante do sítio A. Mais uma vez, o ribossomo dá um "passo" correspondente a uma trinca de bases; o RNAt desligado dos aminoácidos se solta e o sítio P passa a ser ocupado pelo RNAt que antes ocupava o sítio A. Esse RNAt transporta agora um tripeptídio, ou seja, uma cadeia de três aminoácidos. O sítio A, localizado sobre o quarto códon da sequência, torna-se disponível para receber o próximo RNAt, com seu respectivo aminoácido. À medida que o ribossomo se desloca sobre o RNAm, a cadeia polipeptídica cresce. (Fig. 6.22)

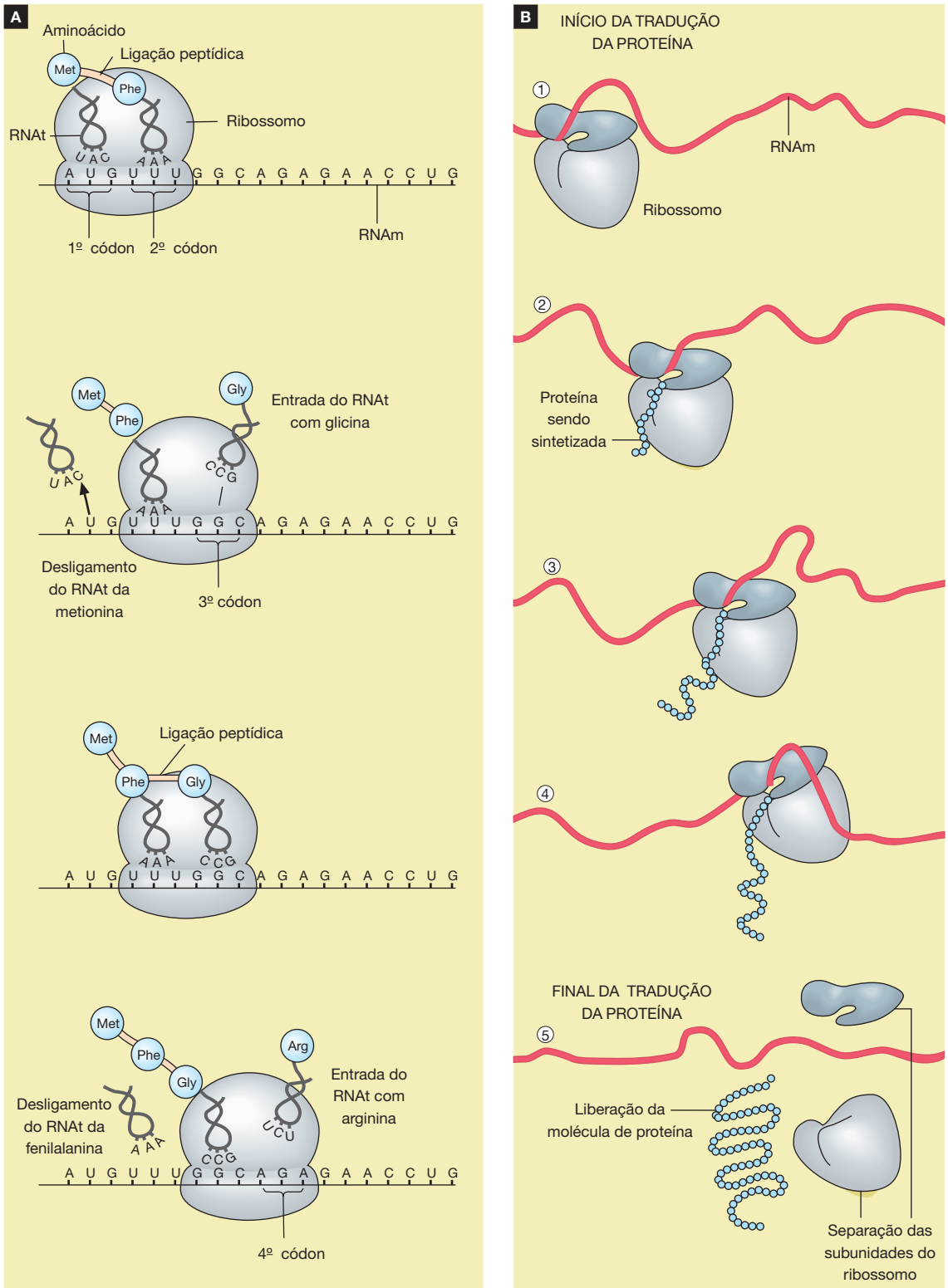


Figura 6.22 A. De cima para baixo, representação dos estágios sucessivos do encadeamento dos aminoácidos para formar a proteína. A sequência de códons do RNAm determina a ordem em que os aminoácidos se unem. **B.** Visão geral do processo de síntese de proteínas que ocorre no ribossomo, desde o momento em que ele se une ao RNAm (1) até que suas subunidades se separam (5), liberando a proteína completamente formada. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Término da síntese da cadeia polipeptídica

O último estágio da síntese de um polipeptídio ocorre quando o ribossomo chega a um **códon de parada**, um dos três para os quais não há aminoácido correspondente. Quando isso ocorre, o sítio A do ribossomo é ocupado por uma proteína denominada fator de liberação. Todos os participantes do processo se separam, liberando, então, a cadeia polipeptídica formada.

Ao percorrer a extensão da molécula de RNAm, o ribossomo promove a síntese de uma única cadeia polipeptídica. Entretanto, à medida que um ribossomo se desloca sobre o RNAm, traduzindo-o, outro ribossomo pode se associar ao mesmo RNAm e iniciar a síntese de outra cadeia polipeptídica. Esta será exatamente idêntica à produzida pelo outro ribossomo.

É comum encontrar entre dez e vinte ribossomos traduzindo simultaneamente um mesmo RNAm. Cada um deles apresenta uma cadeia polipeptídica em formação, cujo tamanho depende do trecho já percorrido no RNAm. O conjunto formado por vários ribossomos traduzindo simultaneamente um mesmo RNAm é denominado **polirribossomo** ou polissomo. (Fig. 6.23)

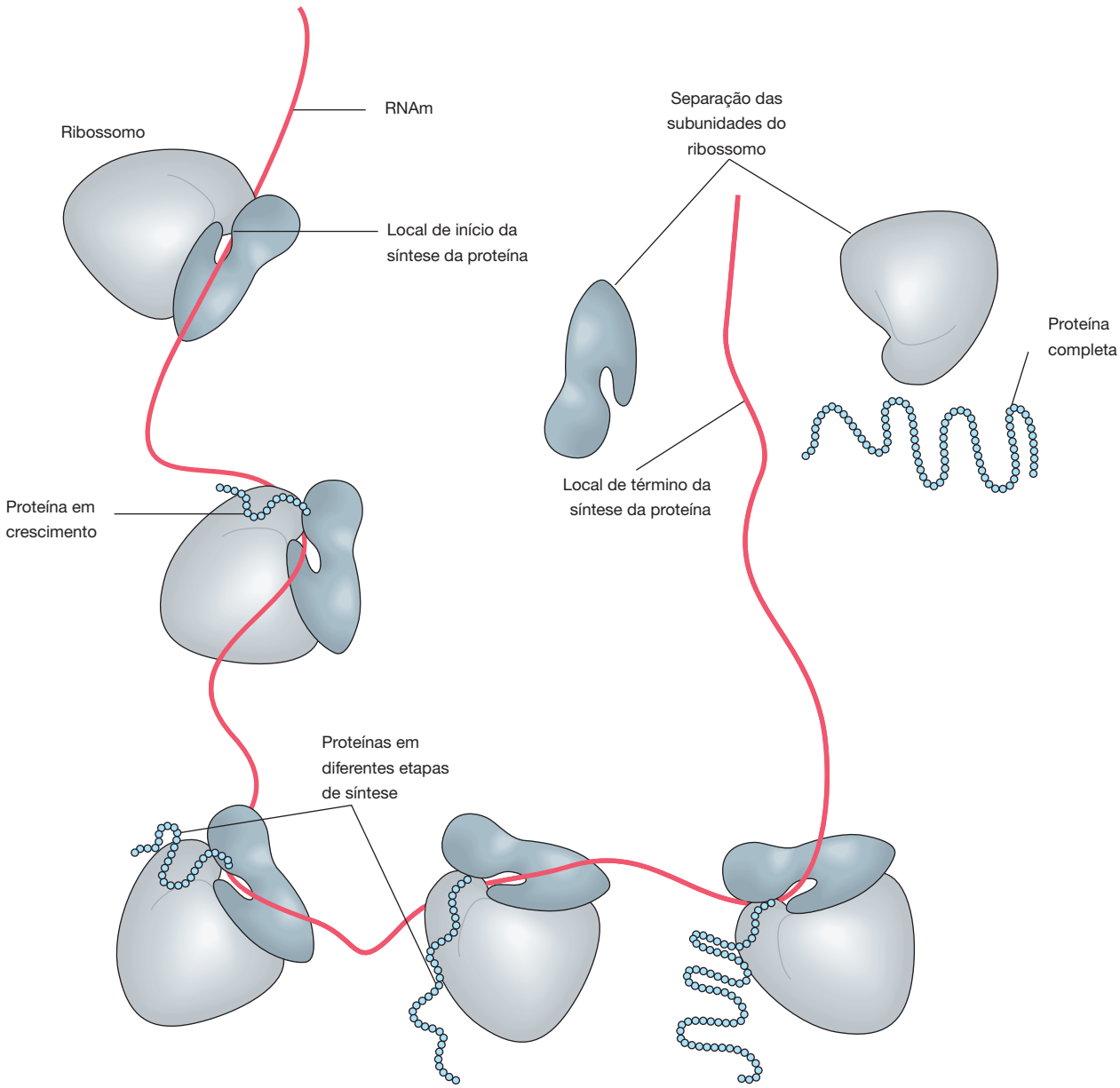


Figura 6.23 Representação esquemática de um polirribossomo. Uma molécula de RNAm é percorrida simultaneamente por diversos ribossomos, todos eles sintetizando cadeias polipeptídicas idênticas. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 4.

a) célula diploide
b) célula haploide
c) gene
d) genoma

1. O conjunto total de moléculas de DNA característico de uma espécie, incluindo os trechos sem informação genética, constitui o(a) (▬). 1. d

2. A presença de pares de cromossomos homólogos caracteriza um(a) (▬). 2. a

3. O(A) (▬) apresenta apenas um representante de cada tipo cromossômico. 3. b

4. O segmento de DNA denominado (▬) contém informação para a síntese de uma proteína. 4. c

5. Cromossomos homólogos são aqueles que 5. c
a) diferem entre os sexos.
b) estão presentes tanto em machos quanto em fêmeas.
c) apresentam genes equivalentes, localizados nas mesmas posições relativas.
d) distinguem células somáticas de gametas.

6. O evento denominado fase S da interfase é definido pelo(a) 6. c
a) condensação dos cromossomos.
b) desaparecimento dos nucléolos.
c) duplicação do DNA cromossômico.
d) síntese de RNA ribossômico.

Relacione cada uma das fases do ciclo celular, listadas a seguir, a um evento característico, apresentado nas questões 7 a 13.

a) anáfase
b) fase S da interfase
c) metáfase
d) prófase
e) telófase

7. Um dos eventos típicos da (▬) é a reconstituição das cariotecas, com formação dos núcleos-filhos. 7. e

8. A (▬) tem início com a condensação dos cromossomos. 8. d

9. O evento que caracteriza a (▬) da mitose é a separação das cromátides-irmãs para polos celulares opostos. 9. a

10. O desaparecimento dos nucléolos ocorre na (▬). 10. d

11. A placa equatorial, em que os cromossomos estão alinhados na região mediana da célula, é característica da (▬). 11. c

12. O que caracteriza a (▬) é a duplicação do DNA dos cromossomos. 12. b

13. Os nucléolos, que desaparecem no início da mitose, reaparecem na (▬). 13. e

14. O cariótipo humano normal apresenta 14. b
a) 23 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
b) 22 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
c) 45 pares de autossomos e 1 par de cromossomos sexuais.
d) 44 pares de autossomos e 2 pares de cromossomos sexuais.

15. Quantas cromátides se espera encontrar em cada núcleo celular humano na prófase e na telófase da mitose, respectivamente? 15. c
a) 46 cromátides; 23 cromátides.
b) 46 cromátides; 46 cromátides.
c) 92 cromátides; 46 cromátides.
d) 92 cromátides; 92 cromátides.

16. O que significa dizer que as duas cadeias de uma molécula de DNA são complementares? 16. d
a) Elas têm os mesmos tipos de bases nitrogenadas.
b) Uma delas é formada apenas pelas bases A/T, e a outra, por C/G.
c) Onde houver A em uma delas, haverá U na outra; onde houver C em uma delas, haverá G na outra.
d) Onde houver A em uma delas, haverá T na outra; onde houver C em uma delas, haverá G na outra.

17. Um pesquisador descobriu que a sequência de bases de um trecho de uma molécula de DNA é ATTACGAGGTACATTCG. Qual será a sequência de bases na cadeia complementar no mesmo trecho? 17. c
a) ATTACGAGGTACATTCG.
b) GCCGTAGAACGTGCCTA.
c) TAATGCTCCATGTAAGC.
d) Não pode ser determinada.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

18. Ao final da síntese de um polipeptídio, o que o ribossomo encontra na molécula de RNA mensageiro que está sendo traduzida? 18. b

a) Um códon AUG.

b) Um dos três códons de parada, para os quais não há RNAt correspondentes.

c) Uma região promotora.

d) Uma sequência de término de transcrição.

19. Onde é sintetizada uma cadeia polipeptídica? 19. a

a) Em apenas um ribossomo, que se desloca sobre o RNA mensageiro desde um códon AUG até um códon de parada.

b) Em apenas um ribossomo, que se desloca sobre o RNA mensageiro desde a região promotora até um anticódon.

c) Em inúmeros ribossomos, que se dispõem em sequência sobre o RNA mensageiro, cada um deles associado a um códon.

d) Em inúmeros ribossomos, que se dispõem em sequência sobre o RNA mensageiro, cada um deles associado a dois códons vizinhos.

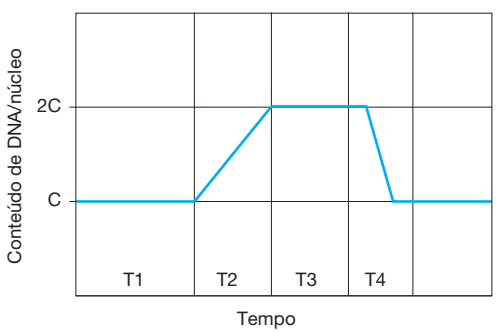
Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

20. Justifique ou conteste a seguinte afirmação: "Células procarióticas não têm núcleo; como as hemácias humanas não têm núcleo, elas são, portanto, células procarióticas".

21. Releia a abertura do capítulo, que trata da clonagem da ovelha Dolly. É possível que você tenha notado que os pesquisadores do Instituto Rosling escolheram ovelhas de características bem distintas como doadoras do núcleo – Belinda = Finnish-Dorset – e do citoplasma – Fluffy = Scottish Blackface. O que será que eles pretendiam com isso? Troque ideias com os colegas e o professor a respeito e registre suas conclusões.

22. O gráfico a seguir representa a variação do conteúdo de DNA por núcleo no decorrer do ciclo celular de uma célula eucariótica. Analise-o e identifique o significado das siglas T1, T2, T3 e T4.



ADILSON SECCO

23. A sequência ACUGACAUGUUACUCACUAUUUGACAGGUAA representa uma molécula de RNA mensageiro cuja tradução ocorre da esquerda para a direita.

Tendo como base a tabela de código genético apresentada neste capítulo, determine:

a) o códon a partir do qual será iniciada a cadeia polipeptídica;

b) o último códon com aminoácido correspondente na cadeia polipeptídica;

c) a sequência de aminoácidos da cadeia polipeptídica codificada por esse RNA.

24. Escreva a sequência de bases das duas cadeias do DNA a partir do qual foi transcrito o RNA mencionado na questão anterior, indicando qual das cadeias foi transcrita pela polimerase do RNA.

25. Quais seriam os efeitos no RNA mensageiro e no polipeptídio traduzido se o 16º par de bases (T = A) do DNA da questão anterior fosse trocado pelo par C ≡ G? (Utilize a tabela de código genético para responder a esta questão.)

26. Quais seriam os efeitos no RNA mensageiro e no polipeptídio se o 16º par de nucleotídios do DNA da questão 24 fosse eliminado da molécula? (Utilize a tabela de código genético para responder a esta questão.)

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

27. **Construção de modelos: Simulando os eventos da mitose**

Nesta atividade, você e seus colegas representarão os cromossomos usando modelos de massa de modelar (ou de outro material); o objetivo é simular, passo a passo, o processo de mitose, facilitando sua compreensão. Sugerimos trabalhar em grupos de três ou quatro alunos, para que haja troca de ideias durante a elaboração dos modelos. Aproveite a atividade para reforçar os conceitos de célula diploide, cromossomos homólogos, cromátide e centrômero.

Se possível, fotografe as etapas da simulação da divisão celular e monte um painel ou uma apresentação de *slides* com a sequência, identificando cada etapa. Alternativamente, você pode utilizar fotografias ou vídeos desta atividade para criar uma pequena animação sobre o processo de divisão celular. Essa animação pode ser exibida para a turma ou disponibilizada na internet.

Material

- massa de modelar (ou barbantes grossos) de pelo menos quatro cores diferentes;
- folhas grandes de papel de embrulho;
- grãos de lentilha ou de feijão pequeno;
- opcional: câmera fotográfica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Procedimento

1. Forre a mesa de trabalho com uma folha de papel de embrulho e desenhe sobre ela um círculo grande para representar os limites da célula.
2. Com a massa de modelar, represente um par de cromossomos metacêntricos e um par de cromossomos acrocêntricos, usando uma cor para cada cromossomo. Uma célula com apenas esses cromossomos teria número diploide $2n = 4$.
3. Os cromossomos metacêntricos devem ser representados por dois rolinhos com aproximadamente 10 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro.
4. Os outros dois rolinhos, um pouco mais curtos que os primeiros, representam o par de cromossomos acrocêntricos.
5. Utilize um grão de lentilha ou de feijão para representar o centrômero de cada par de cromossomos.
6. Coloque os modelos de cromossomos sobre a folha de papel de embrulho e dê início à atividade. O primeiro passo consiste em representar a duplicação dos cromossomos, fazendo novos rolinhos, idênticos aos anteriores, e unindo-os aos cromossomos correspondentes pela região do centrômero.
7. Distribua os modelos de cromossomos duplicados sobre a folha de papel de embrulho, simulando a metáfase.
8. Represente, em seguida, a separação das cromátides-irmãs na anáfase. Para isso, separe as cromátides de cada cromossomo e use mais uma lentilha ou um feijão para recompor o centrômero, que também se duplica.
9. Prossiga a simulação, separando as cromátides de cada cromossomo e carregando-as para polos opostos da célula. Para isso, amarre uma linha às regiões centroméricas dos cromossomos, de modo a puxá-los apenas pelos centrômeros. Isso permite notar que a forma dobrada que os cromossomos assumem, durante sua migração para polos opostos, resulta do fato de eles serem puxados apenas pela região do centrômero.
10. Finalize a simulação representando a citocinese.

28. Atividade de laboratório: Extraindo DNA de cebola

Apresentamos aqui uma técnica simples de extração de DNA de bulbo de cebola. Apesar de simplificados, os procedimentos empregados são equivalentes aos utilizados em laboratórios bioquímicos.

Material

- uma cebola grande;
- faca de cozinha;
- 3 copos tipo americano;
- 1 colher de sopa e 1 colher de café;
- panela de água em banho-maria (cerca de 60 °C);
- água filtrada;
- sal de cozinha;
- detergente de lavar louça;
- álcool etílico a 95%, gelado (mantido por uma noite no congelador);
- bastão fino de vidro ou de madeira;
- coador de café de papel;
- gelo moído.

Procedimento

1. Pique a cebola em pedaços bem pequenos, com menos de 0,5 cm^2.
2. Coloque quatro colheres (de sopa) de detergente e uma colher (de café) de sal em meio copo com água, mexendo até os componentes se dissolverem completamente.
3. Coloque a cebola picada no copo com a solução de detergente e sal e leve ao banho-maria por cerca de 15 minutos.
4. Retire a mistura do banho-maria e resfrie-a rapidamente, colocando o copo no gelo durante cerca de 5 minutos.
5. Coe a mistura no coador de café, recolhendo o filtrado em um copo limpo.
6. Cuidadosamente, adicione ao filtrado cerca de meio copo de álcool gelado. Despeje o álcool fazendo-o escorrer vagarosamente pela borda do copo. Você vai notar que se formarão duas fases, a superior, alcoólica, e a inferior, aquosa.
7. Mergulhe o bastão no copo e, com movimentos circulares, misture as fases. Formam-se fios esbranquiçados que são aglomerados de moléculas de DNA.

Questões

1. Qual é o papel do detergente nesse procedimento?
2. Qual é o papel do álcool e do sal nesse procedimento? Faça uma pesquisa sobre isso e resuma as informações encontradas.

29. Trabalhando com modelos: Simulando a síntese de proteínas

Nesta atividade, vamos simular, passo a passo, os mecanismos que levam ao encadeamento dos aminoácidos da proteína sob o comando do RNA mensageiro e, em última análise, do DNA que os transcreveu. Realize esta atividade em grupo e, se possível, filme ou fotografe a simulação para manter um registro dela. Esse material pode ser utilizado para criar uma animação sobre a síntese de proteínas, que vocês podem divulgar na internet por meio de *blogs* ou redes sociais.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Material

- tesoura;
- cola (de preferência em bastão);
- miniclipes;
- reprodução (escaneada ou xerocopiada) das páginas 134 e 135;
- tabela de codificação genética (consulte a do livro na página 122);
- painel de isopor ou de cortiça (opcional);
- alfinetes de mapa ou percevejos (opcional);
- lápis de cor ou canetas hidrográficas coloridas (opcional);
- câmera filmadora ou fotográfica (opcional).

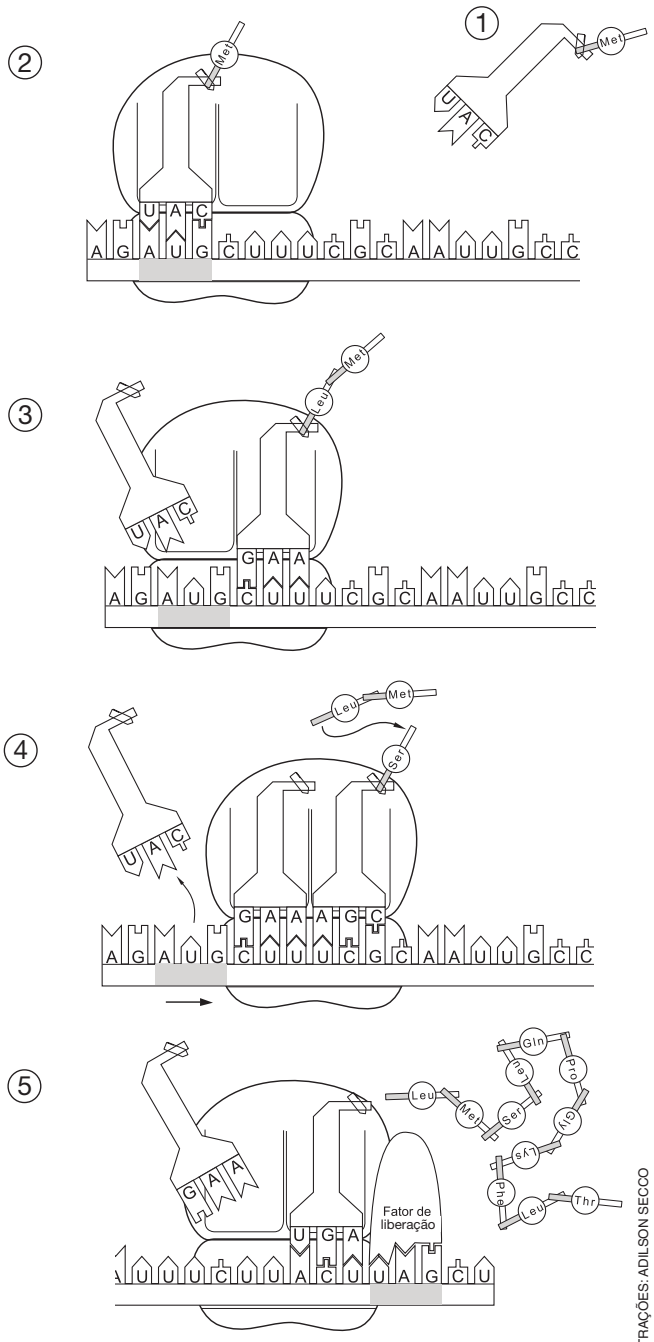
Procedimento inicial

Pegue a reprodução das páginas 134 e 135 e recorte os elementos nelas representados: RNAm, ribossomo, aminoácidos, RNAt e fator de liberação. Note que o RNAm está dividido em dois pedaços, que precisam ser unidos com cola. Se quiser, você pode colorir as partes para torná-las mais facilmente identificáveis. Alternativamente, você poderá fazer seus próprios desenhos com base nos modelos.

A montagem do modelo pode ser feita sobre uma superfície plana ou fixando as peças em um painel de isopor ou de cortiça com alfinetes de mapa ou percevejos.

Simulação

- Sua primeira tarefa é encontrar o RNAt correspondente a cada aminoácido, unindo-os com os miniclipes. Consulte a tabela de codificação genética para estabelecer a correspondência, lembrando que ela se refere aos códons (trincas de bases no RNAm) dos aminoácidos. Assim, será necessário "traduzir" os códons para os anticódons do RNAt. Por exemplo, se o códon para a metionina é AUG, a trinca do RNAt correspondente é UAC.
- Alinhe o RNAm na subunidade menor do ribossomo de maneira que o códon de início fique exatamente abaixo do sítio P, na subunidade maior do ribossomo. Encaixe o RNAt da metionina no sítio P do ribossomo de modo que seu anticódon se encaixe ao códon de início. Esse encaixe marca o início da síntese da proteína.
- Encaixe o RNAt que corresponde ao códon localizado sob o sítio A. O aminoácido transportado por esse RNAt será o segundo da cadeia polipeptídica. Solte a metionina de seu RNAt e prenda com um miniclipe sua extremidade carboxila (cinza) à extremidade amina (branca) do segundo aminoácido.
- Deslize com cuidado o ribossomo para a direita. Percorra uma distância correspondente a três bases, mantendo encaixados os códons e os anticódons. O RNAt da metionina fica fora do ribossomo e desliga-se do RNAm; o segundo RNAt, com os dois aminoácidos unidos, passa a ocupar o sítio P; o sítio A fica vazio. Encaixe o RNAt que corresponde ao códon localizado sob o sítio A. Solte a dupla de aminoácidos (dipeptídio) do RNAt localizado no sítio P e prenda a extremidade carboxila livre à extremidade amina do terceiro aminoácido.
- Repita o procedimento anterior até que o códon de término passe a ocupar o sítio A do ribossomo. O encaixe do fator de liberação determina o fim da mensagem genética para a proteína, que se desliga do último RNAt. A ilustração a seguir esquematiza simplificadamente todo o procedimento.



Representação esquemática do procedimento.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A Biologia no vestibular e no Enem

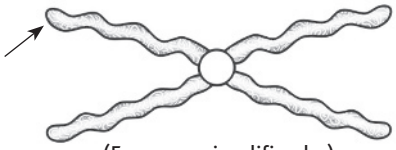
Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (Unir-RO) Qual das seguintes estruturas celulares é responsável pela formação dos ribossomos? 1. d

a) Retículo endoplasmático.
b) Complexo de Golgi.
c) Centríolo.
d) Nucléolo.
e) Lisossomo.

2. (UFRGS-RS) O desenho abaixo representa um cromossomo da espécie humana.



OSVALDO SEQUETIN

(Esquema simplificado.)

Como se chama a região indicada pela seta? De que substância ela é formada? 2. a

a) cromátide – DNA.
b) centrômero – RNA.
c) cromátide – RNA.
d) cromossomos – RNA.
e) centrômero – DNA.

3. (Fuvest-SP) No processo de divisão celular por mitose, chamamos de célula-mãe aquela que entra em divisão e de células-filhas as que se formam como resultado do processo. Ao final da mitose de uma célula, têm-se 3. a

a) duas células, cada uma portadora de metade do material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra metade, recém-sintetizada.
b) duas células, uma delas com material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra célula com material genético recém-sintetizado.
c) três células, ou seja, a célula-mãe e duas células-filhas, estas últimas com metade do material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora e a outra metade, recém-sintetizada.
d) três células, ou seja, a célula-mãe e duas células-filhas, estas últimas contendo material genético recém-sintetizado.
e) quatro células, duas com material genético recém-sintetizado e duas com material genético que a célula-mãe recebeu de sua genitora.

4. (UFPA) O período que precede a mitose é denominado de interfase. Nessa fase ocorre a duplicação do DNA, evento que garante a transmissão das informações existentes na célula original para cada uma das células-filhas. A duplicação do DNA origina a formação de pares de 4. a

a) cromátides-irmãs presas uma à outra pelo centrômero.
b) cromossomos homólogos ligados pelos quiasmas.
c) nucléolos portadores de genes alelos.
d) cromossomos duplos, cada um com uma cromátide.
e) cromatinas diploides dispersas no nucléolo.

5. (UFPA) Em 1953, Watson e Crick decifraram que a estrutura da molécula de DNA (ácido desoxirribonucleico) é uma dupla-hélice, responsável pelas características dos organismos. Com os conhecimentos atuais, julgue as afirmativas sobre a molécula de DNA.

I. Na autoduplicação da molécula de DNA, cada filamento original serve de molde para a síntese de um novo filamento (duplicação semiconservativa).
II. A base nitrogenada adenina emparelha-se com a citosina, enquanto a timina emparelha-se com a guanina.
III. As bases nitrogenadas dos dois filamentos estão unidas por ligações denominadas pontes de hidrogênio.

Está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s) 5. d

a) I somente.
b) II somente.
c) I e II.
d) I e III.
e) II e III.

6. (Enem-MEC) Um fabricante afirma que um produto disponível comercialmente possui DNA vegetal, elemento que proporcionaria melhor hidratação dos cabelos. 6. a

ADILSON SECCO

Sobre as características químicas dessa molécula essencial à vida, é correto afirmar que o DNA

a) de qualquer espécie serviria, já que tem a mesma composição.
b) de origem vegetal é diferente quimicamente dos demais, pois possui clorofila.
c) das bactérias poderia causar mutações no couro cabeludo.
d) dos animais se encontra sempre enovelado e é de difícil absorção.
e) de características básicas assegura sua eficiência hidratante.

7. (UFC-CE) Sobre os diferentes papéis dos ácidos nucleicos na síntese de proteínas, podemos afirmar corretamente que 7. a

a) a sequência de bases no DNA determina a sequência de aminoácidos na cadeia polipeptídica.
b) a posição dos aminoácidos na cadeia polipeptídica depende da sequência de bases do RNAt.
c) o transporte de aminoácidos para o local da síntese é feito pelo RNAm.
d) a sequência de bases do RNAr é transcrita a partir do código do RNAm.
e) a extremidade livre dos diversos RNAt tem sequências de bases diferentes.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8. (UFSCar-SP) Um pesquisador, interessado em produzir em tubo de ensaio uma proteína nas mesmas condições em que essa síntese ocorre nas células, utilizou ribossomos de células de rato, RNA mensageiro de células de macaco, RNA transportador de células de coelho e aminoácidos ativos de células de sapo. A proteína produzida teria uma sequência de aminoácidos idêntica à do 8. d

a) rato.
b) sapo.
c) coelho.
d) macaco.
e) macaco e do rato.

9. (Fuvest-SP) Quando afirmamos que o metabolismo da célula é controlado pelo núcleo celular, isso significa que 9. b

a) todas as reações metabólicas são catalisadas por moléculas e componentes nucleares.
b) o núcleo produz moléculas que, no citoplasma, promovem a síntese de enzimas catalisadoras das reações metabólicas.
c) o núcleo produz e envia, para todas as partes da célula, moléculas que catalisam as reações metabólicas.
d) dentro do núcleo, moléculas sintetizam enzimas catalisadoras das reações metabólicas.
e) o conteúdo do núcleo passa para o citoplasma e atua diretamente nas funções celulares, catalisando as reações metabólicas.

10. (Fuvest-SP) Existe um número muito grande de substâncias com funções antibióticas. Essas substâncias diferem quanto à maneira pela qual interferem no metabolismo celular. Assim, a tetraciclina liga-se aos ribossomos e impede a ligação do RNA transportador; a mitomicina inibe a ação da polimerase do DNA e a estreptomicina causa erros na leitura dos códons do RNA mensageiro. Essas informações permitem afirmar que

I. a tetraciclina impede a transcrição e leva a célula bacteriana à morte por falta de RNA mensageiro.
II. a mitomicina, por inibir a duplicação do DNA, impede a multiplicação da célula bacteriana.
III. a estreptomicina interfere na tradução e leva a célula bacteriana a produzir proteínas defeituosas.

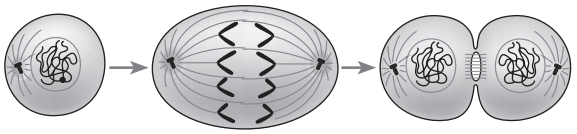
Das afirmativas acima 10. c

a) apenas I é correta.
b) apenas I e II são corretas.
c) apenas II e III são corretas.
d) apenas I e III são corretas.
e) I, II e III são corretas.

Questões discursivas

11. (UFRJ) Num laboratório, o núcleo de uma célula da espécie A foi retirado e implantado numa célula-ovo da espécie B, cujo núcleo havia sido previamente removido. Caso essa célula-ovo se desenvolvesse até a formação de um novo indivíduo, ele teria as características da espécie A ou da espécie B? Justifique sua resposta.

12. (Unicamp-SP) O esquema abaixo representa três fases do ciclo celular de uma célula somática de um organismo diploide.



Adaptado de Hernandes Faustino de Carvalho e Shirlei Maria Recco-Pimentel. *A célula*. Manole, 2007. p. 380.

a) Qual é o número de cromossomos em uma célula haploide do organismo em questão? Justifique sua resposta.
b) Identifique se a célula representada é de um animal ou de uma planta. Aponte duas características que permitam fazer sua identificação. Justifique.

13. (UFRJ) A soma das porcentagens de guanina e citosina em certa molécula de ADN é igual a 58% do total de bases presentes.

a) Indique as porcentagens das quatro bases, adenina (A), citosina (C), guanina (G) e timina (T), nessa molécula.
b) Explique por que é impossível prever a proporção de citosina presente no ARN mensageiro codificado por esse trecho de ADN.

14. (Unicamp-SP) Em 25 de abril de 1953, um estudo de uma única página na revista inglesa *Nature* intitulado "A estrutura molecular dos ácidos nucleicos", quase ignorado de início, revolucionou para sempre todas as ciências da vida, sejam elas do homem, rato, planta ou bactéria. James Watson e Francis Crick descobriram a estrutura do DNA, que permitiu posteriormente decifrar o código genético determinante para a síntese proteica.

a) Watson e Crick demonstraram que a estrutura do DNA se assemelha a uma escada retorcida. Explique a que correspondem os "corrimãos" e os "degraus" dessa escada.
b) Que relação existe entre DNA, RNA e síntese proteica?
c) Como podemos diferenciar duas proteínas?

15. (Fuvest-SP) Uma alteração no DNA pode modificar o funcionamento de uma célula? Por quê?

16. (Unicamp-SP) Ribossomos são formados por RNA e proteínas, sintetizados pelos processos de transcrição e tradução, respectivamente.

a) Onde esses processos ocorrem na célula eucariótica?
b) O que acontecerá com os processos de transcrição e tradução se ocorrer uma inativação na região organizadora do nucléolo? Justifique.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Reproduzir esta página para realização da atividade 29 do *Faça você mesmo!*

RNA mensageiro

Parte 1

Parte 2

Ribossomo

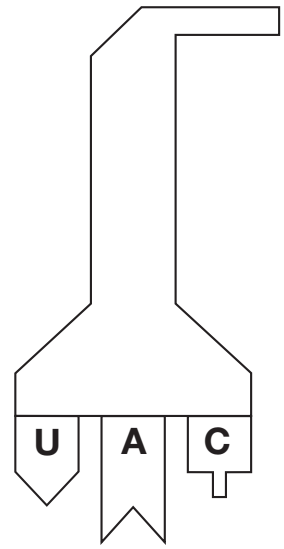
Aminoácidos

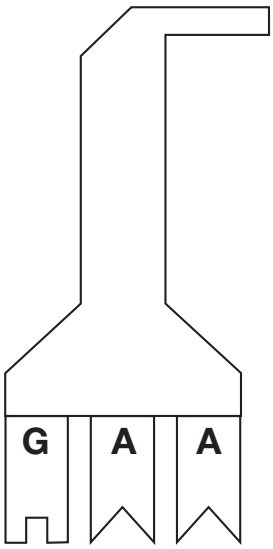
Não recorte esta página. Ela deve ser reproduzida (escaneada ou xerocopiada).

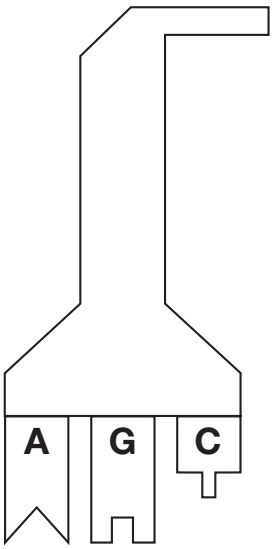
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

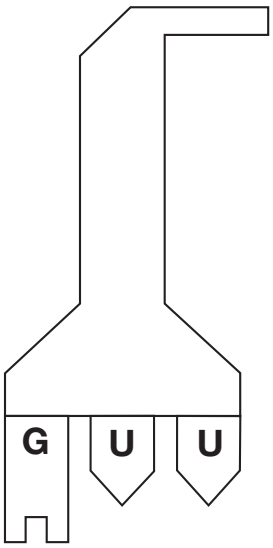
Reproduzir esta página para realização da atividade 29 do *Faça você mesmo!*

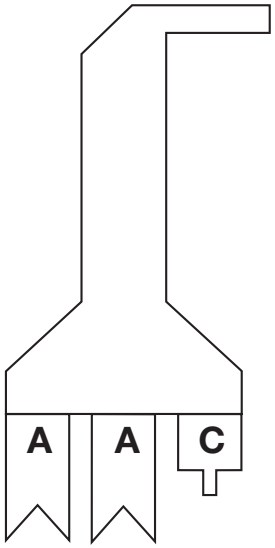
Moléculas de RNA transportador e fator de liberação

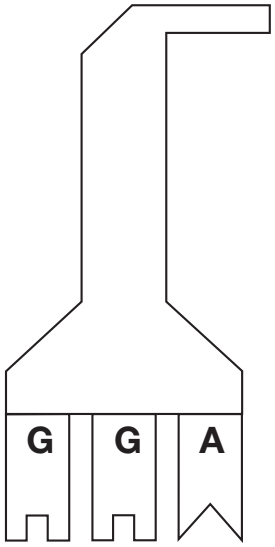


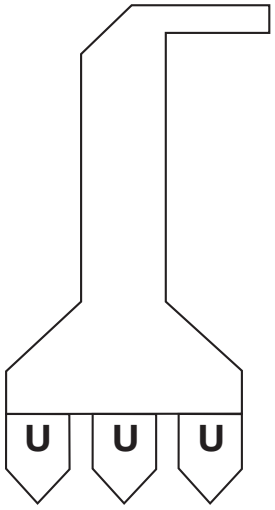


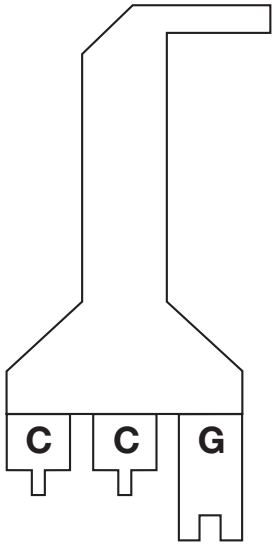


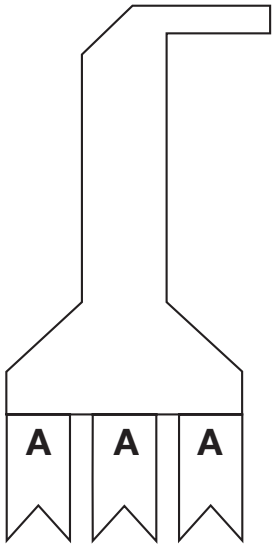


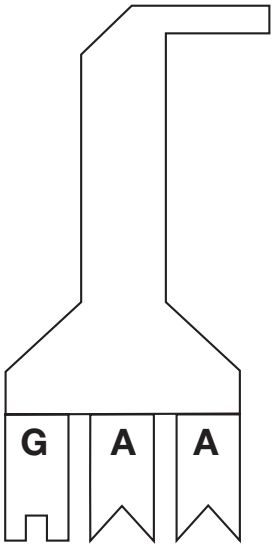


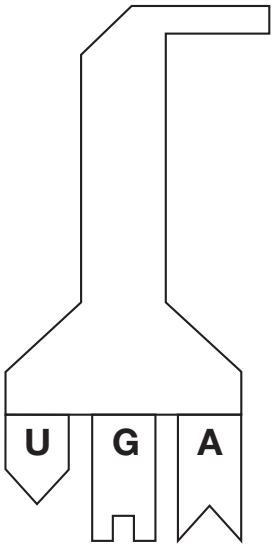












Não recorte esta página. Ela deve ser reproduzida (escaneada ou xerocopiada).

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

MÓDULO 3

Metabolismo energético

Conheça os capítulos deste módulo

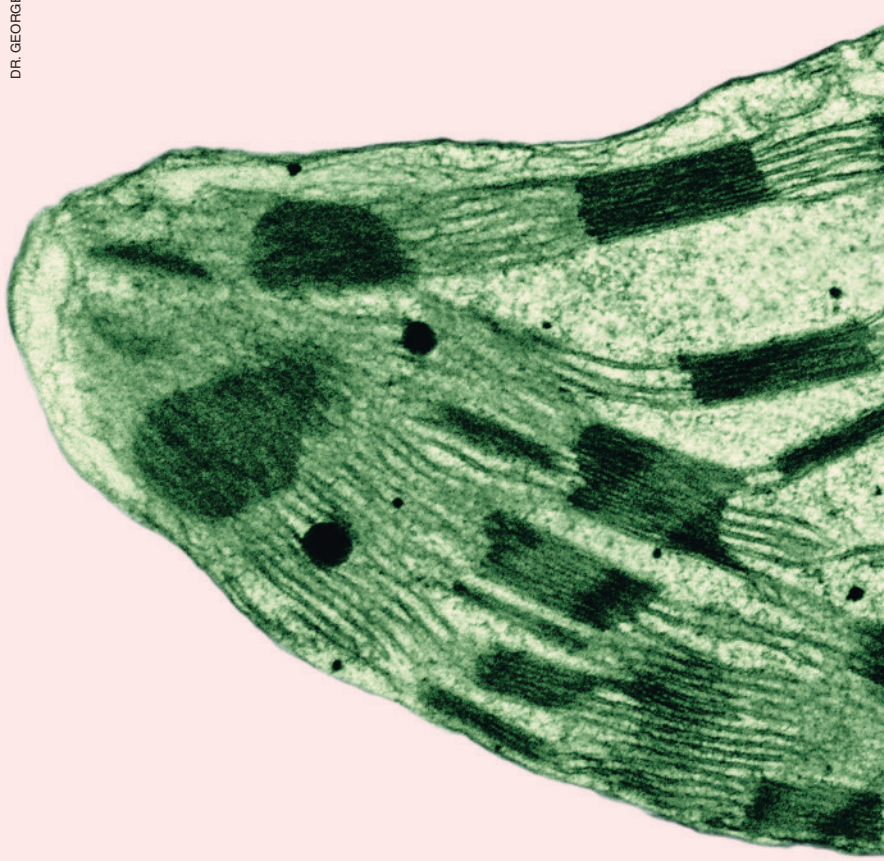
Neste módulo, abordamos um tema fundamental para a vida na Terra: energia. Os sistemas biológicos demandam a injeção contínua de energia, que é transformada e dissipada como calor nos processos metabólicos. Trata-se de um assunto de alto valor estratégico atualmente, em virtude da busca por fontes alternativas de energia.

Capítulo 7

O Sol é a fonte de energia para quase todos os seres vivos da Terra. A energia luminosa entra nos sistemas vivos pela fotossíntese, um processo altamente eficiente de conversão de energia luminosa em energia química, a qual fica armazenada nas substâncias orgânicas. Veremos que todos os seres vivos compartilham da mesma "moeda energética", o ATP, substância orgânica especializada na transferência de energia entre as reações químicas. A quimiossíntese, realizada apenas por certas bactérias e arqueas, permite obter energia a partir de reações de oxidação de substâncias inorgânicas. Esse pode ter sido o primeiro modo de obtenção de energia na história da vida na Terra.

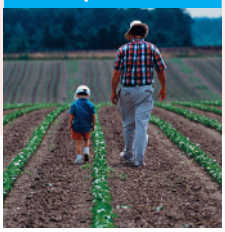
Capítulo 8

A maioria dos seres vivos produz o ATP de que necessita pela respiração celular, processo em que o gás oxigênio é o oxidante final das transformações de moléculas orgânicas em CO_2 e H_2O. A fermentação, por sua vez, é um processo de produção de ATP sem utilização de gás oxigênio, empregado principalmente por certos fungos e bactérias. Nossas células, em determinadas situações, realizam fermentação, se não houver gás oxigênio suficiente para sustentar a atividade celular demandada pelo corpo.



DR. GEORGE CHAPMAN, VISUALS UNLIMITED/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Capítulo 7



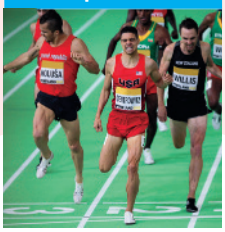
DEBRA FERGUSON/AGSTOCK IMAGES/CORBIS/LATINSTOCK

Fotossíntese e quimiossíntese

Itens principais:

- Energia para a vida
- O processo da fotossíntese
- Quimiossíntese

Capítulo 8

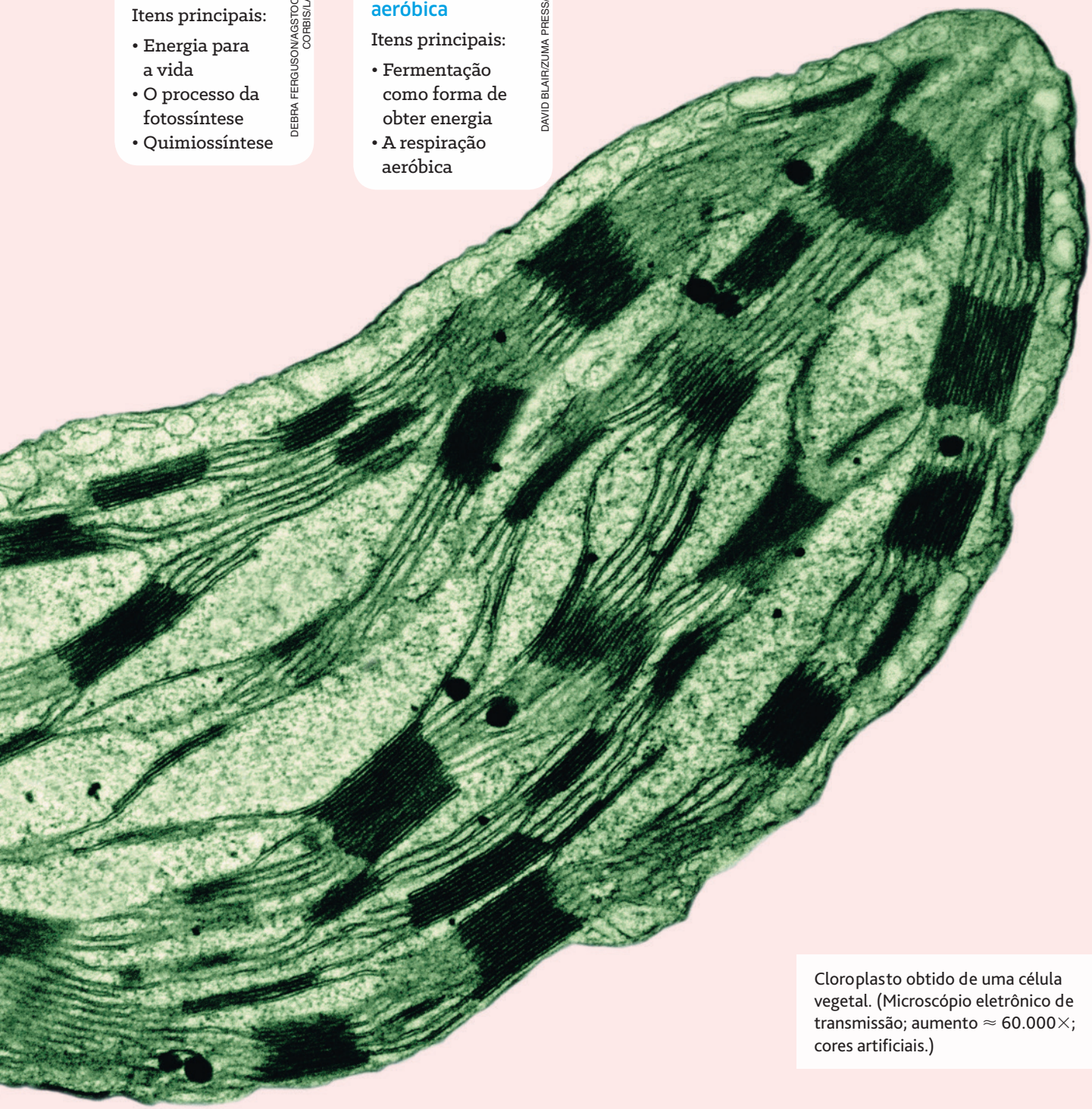


DAVID BLAIR/ZUMA PRESS/CORBIS/LATINSTOCK

Fermentação e respiração aeróbica

Itens principais:

- Fermentação como forma de obter energia
- A respiração aeróbica



Cloroplasto obtido de uma célula vegetal. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 60.000×; cores artificiais.)

Capítulo 7

Fotossíntese e quimiossíntese

DEBRA FERGUSON/AGSTOCK IMAGES/CORBIS/LATINSTOCK

Luzes sobre a fotossíntese

— Pai, o que a planta come?

— Planta não come, filho!

— E como ela cresce? Você sempre diz que se eu não comer não cresço...

— Bom, ela tira tudo o que precisa do solo.

O que você acha da resposta dada pelo pai à dúvida do filho? No século XVII, Jan Baptista van Helmont (1579-1644), médico e fisiologista holandês, descobriu que as plantas tiram do solo apenas quantidades mínimas de substâncias minerais, que não correspondem ao aumento de massa durante o desenvolvimento do vegetal. Naquela ocasião, Van Helmont atribuiu o crescimento das plantas principalmente à água que elas absorvem do ambiente.

Hoje sabemos que as plantas realmente extraem do solo não apenas água, mas também pequeníssimas quantidades de nutrientes minerais. O conhecimento científico sobre esse tema permitiu desenvolver um método de cultivo que tem sido amplamente empregado em todo o mundo: a hidroponia. É possível cultivar plantas sem solo, desde que as raízes estejam mergulhadas em uma solução com nutrientes minerais essenciais.

Sabe-se, atualmente, que as plantas (com exceção das plantas parasitas) produzem seu próprio alimento a partir de energia luminosa e de substâncias simples obtidas no ambiente: gás carbônico e água. Essas substâncias originam moléculas orgânicas ricas em energia, que sustentam as atividades vitais das plantas e dos outros seres vivos. Na imagem, plantação de algodão (Estados Unidos, 2014).

Na segunda metade do século XVIII descobriu-se que, além da água, as plantas utilizam gás carbônico atmosférico como matéria-prima para sintetizar as substâncias orgânicas necessárias ao seu desenvolvimento. A energia para isso vem da luz solar. Assim, surgiu e se desenvolveu o conceito de fotossíntese, processo pelo qual certas bactérias, algas e a grande maioria das plantas (exceção feita apenas às plantas parasitas) produzem substâncias orgânicas a partir de moléculas de água e de gás carbônico, liberando gás oxigênio como subproduto. Talvez você já conheça a equação geral que resume a fotossíntese:

A equação pode dar a falsa impressão de que a fotossíntese consiste em juntar diretamente gás carbônico e água, em presença de luz, para obter glicose e gás oxigênio. Esse processo, porém, não é tão simples assim; como você aprenderá neste capítulo, ocorrem dezenas de reações intermediárias até a formação de glicídios ricos em energia como produtos finais. Uma das etapas-chave da fotossíntese consiste em aproveitar a energia da luz para movimentar geradores proteicos nanoscópicos, localizados nas membranas internas dos cloroplastos e capazes de produzir moléculas ricas em energia.

A fotossíntese é um método altamente eficiente de conversão de energia luminosa em energia química; esta, por sua vez, supre o metabolismo de praticamente todos os seres vivos do planeta. Nestes tempos em que se buscam fontes alternativas de energia, esse é um assunto de alto valor estratégico. Os maiores especialistas nessa área continuam sendo os seres fotossintetizantes. Neste capítulo, vamos aprender um pouco com eles.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Todos os seres vivos compartilham a mesma "moeda energética" – o ATP –, uma substância orgânica especializada na transferência de energia entre as reações químicas celulares.

Uma atividade corriqueira da maioria das plantas – a fotossíntese –, que começa ao nascer do Sol e pode continuar noite adentro, é um jogo molecular de transferências de energia das quais depende a nossa vida.

Outro assunto do capítulo é a quimiossíntese, processo pelo qual certas bactérias e arqueas obtêm energia a partir de reações de oxidação de substâncias inorgânicas. Esse pode ter sido o primeiro modo de obtenção de energia na história da vida na Terra.

A eficiência dos seres vivos em lidar com a energia surpreende os tecnólogos, que alimentam a esperança de um dia poder construir máquinas capazes de gerenciar a energia com eficiência próxima à do sistema vivo.

Ao aprender mais sobre esses temas, você poderá responder corretamente à pergunta da abertura: "o que a planta come?". Pense na resposta enquanto estuda o capítulo.

7.1 Energia para a vida

A fonte primária de energia utilizada pela maioria dos seres vivos é a luz solar. Os seres fotossintetizantes (certas bactérias, algas e a maioria das plantas) captam a energia luminosa do Sol e, a partir dela, produzem glicídios, um grupo de substâncias orgânicas capazes de armazenar grandes quantidades de energia potencial química.

Em uma visão simplificada, é como se a energia luminosa empregada na síntese da molécula de glicídio permanecesse "armazenada" nas ligações químicas dessa substância. O rearranjo das ligações, quando as células decompõem os glicídios em substâncias mais simples, permite que a energia seja disponibilizada para as atividades vitais. Como veremos a seguir, esses processos de transferência de energia que ocorrem nas células vivas são intermediados por um importante composto químico conhecido pela sigla ATP.

ATP, a "moeda energética" do mundo vivo

Praticamente todos os processos celulares demandam energia, que as células obtêm a partir de moléculas orgânicas que lhes servem de alimento. Nesse contexto, podemos perguntar: como as células conseguem captar a energia proveniente do alimento, armazená-la temporariamente e disponibilizá-la prontamente para os processos metabólicos? Para responder a essas questões, vamos nos transportar ao mundo molecular.

A estratégia energética dos seres vivos consiste em transferir a energia liberada na quebra do alimento para moléculas armazenadoras, capazes de circular livremente pela célula fornecendo energia aos processos vitais. O principal responsável pelo armazenamento temporário de energia intracelular é o **trifosfato de adenosina**, substância conhecida pela sigla **ATP** (do inglês, *adenosine triphosphate*). Alguns cientistas comparam o ATP a uma "moeda energética", que circula dentro da célula e custeia os gastos metabólicos.

Uma molécula de ATP resulta da união química de três componentes: uma base nitrogenada, a **adenina**, um glicídio de cinco carbonos, a **ribose**, e três grupamentos **fosfato**. A molécula formada por uma base nitrogenada e um glicídio unida a um ou mais fosfatos constitui um **nucleotídio**.

Os grupos fosfatos do ATP estão unidos entre si por ligações covalentes que liberam grande quantidade de energia quando se desfazem; por esse motivo, essas ligações entre os fosfatos do ATP são denominadas ligações de alta energia, sendo representadas pelo símbolo ~.

Quando o grupo fosfato terminal se separa do ATP, este se transforma em **ADP** (difosfato de adenosina), um nucleotídio com dois fosfatos. Por sua vez, ao ter seu grupo fosfato terminal separado, o ADP transforma-se em **AMP** (monofosfato de adenosina). (Fig. 7.1)

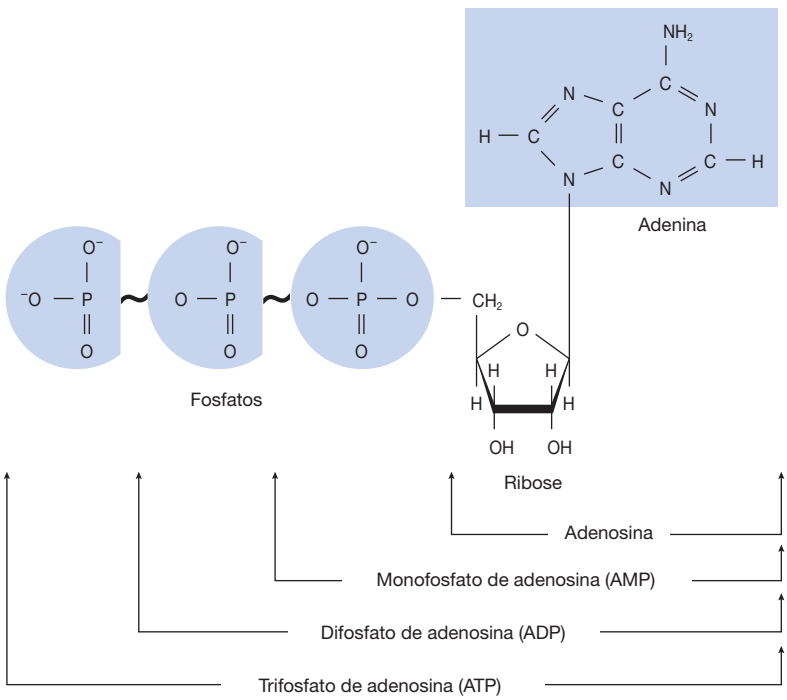


Figura 7.1 Fórmula estrutural do ATP. A parte da molécula formada pela adenina e pela ribose é chamada adenosina.

O ATP é o principal fornecedor de energia para a realização de atividades celulares, entre elas a síntese de substâncias orgânicas e vários outros tipos de atividades metabólicas. Por exemplo, o ATP fornece energia para que as proteínas transportadoras da membrana realizem o transporte ativo (relembre no capítulo 5). Nas células musculares, é o ATP que fornece energia para o deslizamento de filamentos proteicos uns sobre os outros, determinando a contração muscular. O ATP também transfere energia para cílios e flagelos, possibilitando que essas estruturas se movimentem.

Outra importante função do ATP é fornecer energia para as reações que levam à síntese dos milhares de substâncias presentes nos seres vivos. Essas reações são comandadas por enzimas que removem um fosfato terminal do ATP, transformando-o em ADP. A quebra da ligação entre os fosfatos libera energia, que é transferida para a reação química em questão.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

7.2 O processo da fotossíntese

Vamos relembrar a equação geral da **fotossíntese** apresentada anteriormente: de um lado, gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), os reagentes do processo; de outro, glicídios ($C_6H_{12}O_6$) e gás oxigênio (O_2), os produtos. Como fonte de energia, a luz.

Nas células vegetais, a fotossíntese ocorre no interior dos cloroplastos, organelas citoplasmáticas que contêm clorofila e pigmentos acessórios responsáveis pela captação da energia da luz, além de todos os outros participantes do processo fotossintético: enzimas, coenzimas, cofatores etc. (relembre a fig. 5.20 no capítulo 5). Nas bactérias fotossintetizantes, a clorofila e outros pigmentos fotossintetizantes localizam-se em estruturas membranosas presentes no citoplasma.

"Construindo" a equação da fotossíntese

Conhecer um pouco de história da ciência ajuda-nos a entender como o conhecimento científico é "construído" pouco a pouco, como empreendimento coletivo de inúmeros cientistas. A elaboração da equação da fotossíntese é um bom exemplo disso. Acompanhe, a seguir, um pouco da história do conhecimento sobre a fotossíntese.

O primeiro pesquisador que estudou cientificamente a fotossíntese foi o químico inglês Joseph Priestley (1733-1804). Em um artigo de 1772, ele escreveu: "Fiquei muito feliz ao encontrar acidentalmente um método de restaurar o ar viciado pela queima das velas e descobrir pelo menos um dos restauradores que a natureza emprega para essa finalidade: a vegetação".

Sabia-se, naquela época, que a queima de velas ou a respiração de animais em um ambiente fechado "esgotavam o ar", tornando-o irrespirável e incompatível com a vida. Priestley foi o primeiro a observar que, se uma planta fosse introduzida em um ambiente com o "ar esgotado", depois de algum tempo o ar era restaurado e tornava-se novamente respirável.

$$\underset{\text{(irrespirável)}}{\text{Ar "esgotado"}} \xrightarrow[\text{PLANTAS}]{} \underset{\text{(respirável)}}{\text{Ar "puro"}}$$

Essa descoberta causou grande impacto no mundo científico da época; o fato de a vegetação "restaurar" o ar explicava por que a atmosfera permanecia respirável, sem se deteriorar com a respiração de pessoas e de animais e com os processos de combustão.

Outro passo importante na elucidação do processo da fotossíntese foi dado em 1779, quando o médico holandês Jan Ingen-Housz (1730-1799) descobriu que, para "restaurar" o ar, as plantas precisavam ser iluminadas. Assim, acrescentou-se à descoberta de Priestley um novo fator: a luz.

$$\underset{\text{(irrespirável)}}{\text{Ar "esgotado"}} \xrightarrow[\text{PLANTAS}]{\text{LUZ}} \underset{\text{(respirável)}}{\text{Ar "puro"}}$$

Os químicos logo descobriram que o ar esgotado pela respiração dos animais continha menos gás oxigênio (O_2) e mais gás carbônico (CO_2) que o ar atmosférico. As plantas, na presença de luz, invertiam essa situação. O fenômeno descoberto por Priestley passou a ser expresso, então, de uma forma mais elaborada:

$$\underset{(CO_2)}{\text{Ar rico em gás carbônico}} \xrightarrow[\text{PLANTAS}]{\text{LUZ}} \underset{(O_2)}{\text{Ar rico em gás oxigênio}}$$

A equação anterior sugere que as plantas decompõem CO_2 e liberam oxigênio na forma de O_2. Mas onde teriam ido parar os átomos de carbono?

Em 1796, Ingen-Housz propôs a hipótese de que as plantas usavam o carbono do CO_2 para elaborar suas próprias substâncias orgânicas; esse seria o principal papel da fotossíntese, segundo o cientista. Em sua opinião, a liberação de gás oxigênio era apenas um subproduto do processo.

$$\underset{(CO_2)}{\text{Gás carbônico}} \xrightarrow[\text{PLANTAS}]{\text{LUZ}} \underset{\text{(contendo átomos de C)}}{\text{Compostos orgânicos}} + \underset{(O_2)}{\text{Gás oxigênio}}$$

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Em 1804, o cientista suíço Nicolas Theodore de Saussere (1767-1845) mostrou que a água (H_2O) também participa da fotossíntese, juntamente com o gás carbônico (CO_2) do ar. A equação do processo foi novamente ampliada:

$$\underset{\text{Gás carbônico}}{CO_2} + \underset{\text{Água}}{H_2O} \xrightarrow[\text{PLANTAS}]{\text{LUZ}} \underset{\text{(contendo átomos de C)}}{\text{Compostos orgânicos}} + \underset{\text{Gás oxigênio}}{O_2}$$

Em 1893, o pesquisador inglês Charles Barnes (1858-1910) propôs a denominação de fotossintaxe ou fotossíntese para o processo de síntese de compostos orgânicos a partir de gás carbônico, em presença de clorofila e de luz. Barnes, pessoalmente, preferia a primeira denominação, mas foi o termo fotossíntese que prevaleceu e se tornou consagrado pelo uso.

Os estudiosos da fotossíntese supunham que a substância orgânica produzida nesse processo era a glicose, um glicídio com seis átomos de carbono e fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$. Essa suposição fundamentava-se no fato de a glicose ser o glicídio mais utilizado no metabolismo de plantas e animais. A equação do processo passou, então, a ser escrita, em fórmulas químicas, da seguinte maneira:

$$\underset{\text{Reagentes}}{6\,CO_2 + 6\,H_2O} \xrightarrow[\text{PLANTAS}]{\text{LUZ}} \underset{\text{Produtos}}{C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2}$$

Gás carbônico: $6\,CO_2$ — Água: $6\,H_2O$ — Glicídio: $C_6H_{12}O_6$ — Gás oxigênio: $6\,O_2$

A equação anterior leva a pensar que os átomos de oxigênio presentes nas moléculas de O_2 provêm diretamente das moléculas de CO_2 e que os átomos de hidrogênio e de oxigênio presentes nos glicídios ($C_6H_{12}O_6$) provêm das moléculas de H_2O. Entretanto, não é esse o rearranjo de átomos que ocorre na reação de fotossíntese, como veremos a seguir.

Qual dos reagentes – gás carbônico ou água – fornece os átomos de oxigênio constituintes das moléculas de O_2 produzidas na fotossíntese? A resposta começou a ser delineada pelo bioquímico holandês Cornelis van Niel (1897-1985). Por volta de 1930, ele estudava a fotossíntese realizada por sulfobactérias púrpura, organismos autotróficos que utilizam em sua fotossíntese moléculas de sulfeto de hidrogênio (H_2S) em vez de água (H_2O) e liberam no processo enxofre elementar (S) em vez de gás oxigênio (O_2). A partir desses estudos, o pesquisador sugeriu a seguinte equação para a fotossíntese das sulfobactérias púrpura:

$$\underset{\text{Gás carbônico}}{6\,CO_2} + \underset{\text{Gás sulfídrico}}{12\,H_2S} \xrightarrow{\text{LUZ}} \underset{\text{Glicídio}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Enxofre}}{12\,S} + \underset{\text{Água}}{6\,H_2O}$$

Partindo do pressuposto de que a fotossíntese dessas bactérias era semelhante à realizada pelas plantas, diferindo apenas quanto ao doador de hidrogênios – H_2S nas sulfobactérias e H_2O nas plantas –, Van Niel propôs que todos os átomos do gás oxigênio produzido na fotossíntese das plantas seriam provenientes da água. Assim, a maneira mais completa de escrever a equação da fotossíntese seria:

$$\underset{\text{Gás carbônico}}{6\,CO_2} + \underset{\text{Água}}{12\,H_2O} \xrightarrow[\text{PLANTAS}]{\text{LUZ}} \underset{\text{Glicídio}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Gás oxigênio}}{6\,O_2} + \underset{\text{Água}}{6\,H_2O}$$

Na década de 1940, um experimento engenhoso confirmou a hipótese de Van Niel. Pesquisadores da equipe do bioquímico estadunidense Melvin Calvin (1911-1997) forneceram à alga verde *Chlorella* sp. moléculas de água cujo oxigênio era o isótopo ^{18}O, chamado de oxigênio "pesado" em virtude de sua massa atômica ser maior que a do isótopo "leve" (^{16}O), mais comum na natureza. Como técnicas de laboratório permitem diferenciar os dois isótopos, essa foi a maneira encontrada pelos cientistas para "marcar" os átomos de oxigênio da água, de modo a poder distingui-los dos átomos de oxigênio presentes no gás carbônico.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Os pesquisadores verificaram que, quando a fotossíntese ocorria em um meio em que todas as moléculas de água continham ^{18}O, somente o gás oxigênio (O_2) formado apresentava esse isótopo; não havia ^{18}O nos glicídios produzidos. A partir disso, eles concluíram que todos os átomos do gás oxigênio formado na fotossíntese provêm exclusivamente de moléculas de água.

A síntese de ATP no cloroplasto: fotofosforilação

As emissões solares que atingem a Terra constituem-se de uma ampla gama de radiações (ou ondas) eletromagnéticas. As radiações distinguem-se umas das outras por uma característica vibratória de suas ondas, o **comprimento de onda**. Radiações ultravioleta, por exemplo, têm comprimentos de onda mais curtos que radiações infravermelhas. Entre a grande gama de radiações, há uma estreita faixa de comprimentos de onda que nossos olhos conseguem captar, constituindo as radiações visíveis que denominamos **luz**.

A clorofila presente nos cloroplastos de algas e de plantas é capaz de absorver energia da luz, principalmente a das radiações luminosas vermelha e violeta, refletindo quase todo o verde, daí a cor apresentada pela clorofila. (Fig. 7.2)

Ao ser atingida pela luz, uma molécula de clorofila capta energia luminosa. Ocorre então o que os químicos denominam "excitação eletrônica": alguns elétrons absorvem energia da luz e tornam-se "excitados", o que faz com que eles sejam expelidos da molécula de clorofila.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

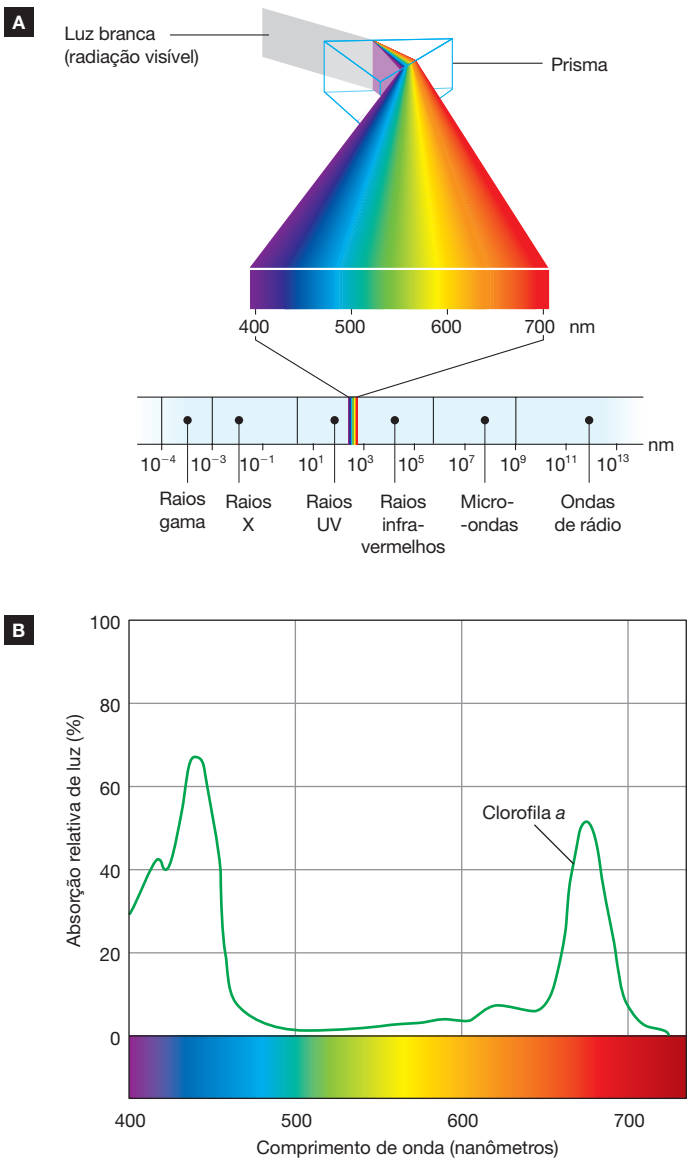


Figura 7.2 A. Representação da decomposição da luz branca que passa através de um prisma de vidro (note que a luz visível é uma estreita faixa entre os comprimentos de onda que constituem as radiações eletromagnéticas). **B.** Espectro de absorção pela clorofila dos diversos comprimentos de onda da luz visível.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Elétrons excitados são instáveis, tendendo a eliminar a energia adicional e voltar ao estado energético original. Entretanto, ao redor das moléculas de clorofila há substâncias especializadas em captar esses elétrons energizados antes que eles liberem seu "excesso" energético na forma de luz ou calor e retornem à clorofila. Essas substâncias captadoras são chamadas **aceptores de elétrons**.

A excitação eletrônica da clorofila pela luz e a captura dos elétrons energizados pelos aceptores marcam o momento da transformação da energia luminosa em energia química.

A energia de parte dos elétrons excitados é liberada controladamente à medida que eles são transferidos do primeiro aceptor para um segundo, para um terceiro, e assim por diante, naquilo que os cientistas denominam **cadeia transportadora de elétrons**. O termo cadeia, nesse caso, refere-se a uma sequência, como os elos de uma corrente. No cloroplasto, os diversos aceptores intermediários da cadeia transportadora de elétrons dispõem-se organizadamente na membrana do tilacoide, maximizando a eficiência das transferências eletrônicas. O último aceptor da cadeia é a substância conhecida por **NADP** (sigla do inglês ***n**icotinamide **a**denine **d**inucleotide **p**hosphate*: fosfato de dinucleotídio de nicotinamida-adenina).

Ao receber os elétrons da cadeia transportadora da qual faz parte, a molécula de NADP passa do estado oxidado ($NADP^+$) em que se encontrava para um estado reduzido (NADPH). Voltaremos a falar dessa substância mais adiante.

A energia liberada pelos elétrons nas cadeias transportadoras é utilizada para forçar prótons (íons de hidrogênio, representados por H^+) a passar do estroma para o espaço interno dos tilacoides, onde se acumulam. Os íons H^+ acumulados tendem a retornar ao estroma, mas a membrana do tilacoide é impermeável à sua saída. Por isso, esses íons só podem voltar ao estroma atravessando a **sintase do ATP**, um complexo proteico presente na membrana do tilacoide.

A constituição da sintase do ATP é comparável a um gerador molecular de dimensões nanoscópicas: ela possui um rotor interno que gira ao ser movido pela passagem dos íons H^+. Nessa atividade, a energia da difusão do H^+ é utilizada para sintetizar ATP pela união de ADP e Pi.

A reação de adição de Pi ao ADP que leva à síntese de ATP é denominada fosforilação. Uma vez que a energia para essa reação provém originalmente da luz, o processo todo é denominado **fotofosforilação**. (Fig. 7.3)

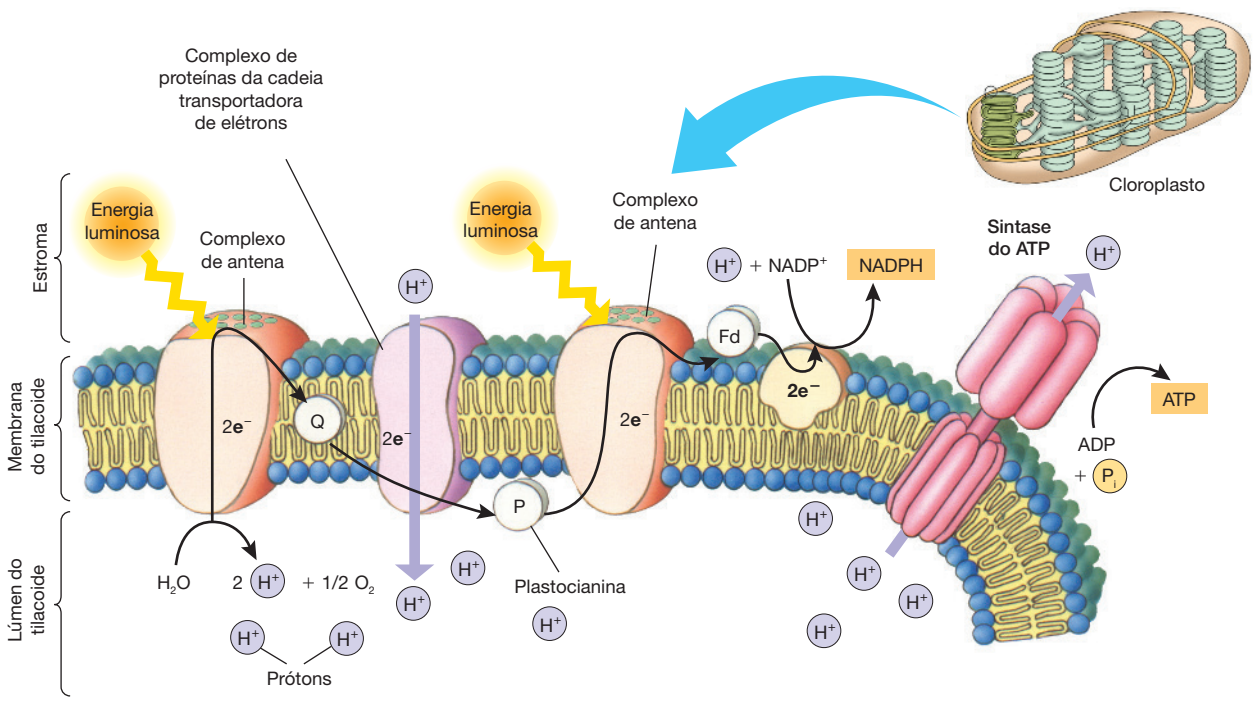


Figura 7.3 No alto, à direita, representação esquemática de um cloroplasto parcialmente cortado para mostrar seu sistema interno de membranas. As bolsas membranosas circulares e achatadas, que lembram moedas empilhadas, são os tilacoides. Abaixo, em maior detalhe, organização das cadeias transportadoras de elétrons e da sintase do ATP na membrana de um tilacoide. Q e Fd são siglas das substâncias quinona e ferredoxina, que, como a plastocianina (P), são proteínas carregadoras de elétrons. (Elaborada com base em Raven, P. e cols., 1999.) (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fotólise da água

A clorofila recupera os elétrons que perdeu com a excitação luminosa a partir de moléculas de água degradadas. Essa reação, denominada **fotólise da água** (do grego *photos*, luz, e *lyse*, quebra) ou **reação de Hill**, ocorre de forma acoplada à fotofosforilação. Cada molécula de água decompõe-se em dois elétrons (e^-), dois prótons de hidrogênio (íons H^+) e um átomo de oxigênio. Os átomos de oxigênio unem-se imediatamente dois a dois, formando moléculas de gás oxigênio (O_2).

A fotólise da água pode ser escrita, em termos químicos, da seguinte maneira:

$$2\,H_2O \xrightarrow{\text{LUZ}} O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$$

Água — Gás oxigênio — Íons de hidrogênio — Elétrons

Nessa reação são formados três produtos:

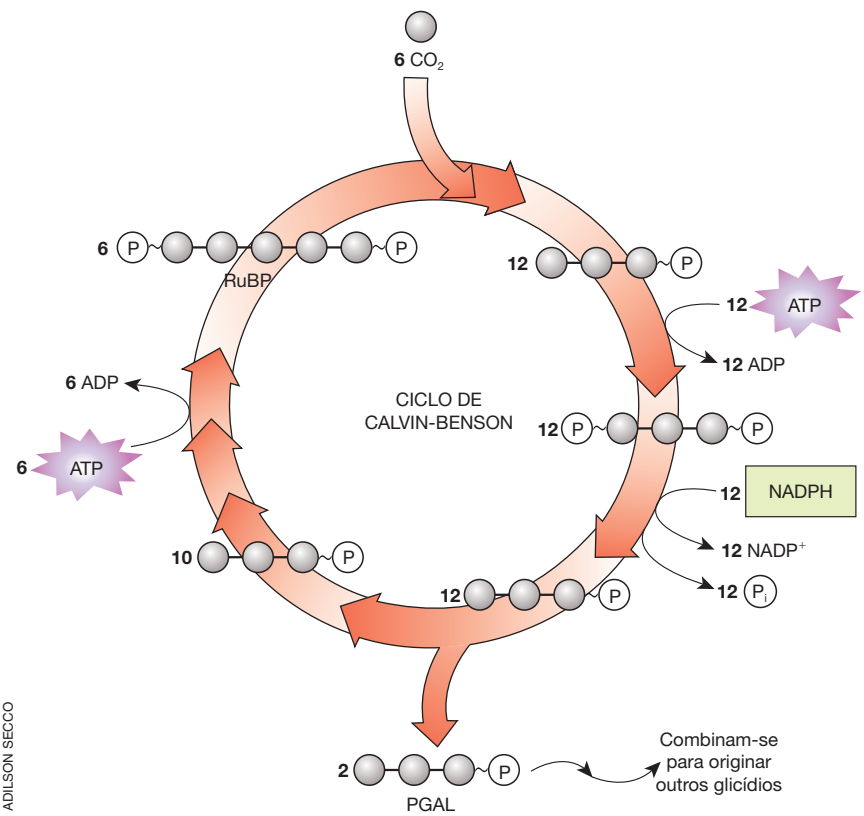
a) **gás oxigênio**, que é liberado para o ambiente;

b) **íons H^+**, que serão capturados pelo NADP; como veremos adiante, esses hidrogênios serão disponibilizados para a fase seguinte da fotossíntese e passarão a fazer parte das moléculas de glicídio produzidas;

c) **elétrons** com baixa energia, que repõem os que foram perdidos pela clorofila na excitação eletrônica; ao recuperar seus elétrons, as moléculas de clorofila estão prontas para passar por novos ciclos de excitação eletrônica.

O ciclo das pentoses e a síntese de glicídios

O último conjunto de reações da fotossíntese, denominado **ciclo das pentoses** ou **ciclo de Calvin-Benson**, resulta na formação de moléculas de glicídios com três átomos de carbono – o 3-fosfato gliceraldeído ou PGAL (do inglês *phosphoglyceraldehyde*). Nesse processo, moléculas de CO_2 reagem com íons de hidrogênio liberados na fotólise da água e com elétrons de alta energia liberados pela clorofila excitada, produzindo o PGAL. O processo é mediado por moléculas de NADPH e demanda certa quantidade de energia adicional, fornecida pelo ATP produzido na fotofosforilação. Acompanhe as reações de formação de PGAL no esquema a seguir. (Fig. 7.4)



ADILSON SECCO

Figura 7.4 Esquema do ciclo das pentoses. O processo tem início com a incorporação de 6 moléculas de gás carbônico a 6 moléculas de RuBP (do inglês *ribulose 1,5-bisphosphate*; 1,5-bifosfato de ribulose), sob a coordenação da enzima rubisco. A cada volta completa, o ciclo das pentoses produz 2 moléculas de glicídio com 3 carbonos (3-fosfato gliceraldeído ou PGAL) e 6 moléculas de RuBP, prontas para incorporar novamente CO_2 e iniciar outro ciclo. (Elaborado com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

É costume representar o glicídio formado na fotossíntese como a glicose ($C_6H_{12}O_6$). Entretanto, hoje se sabe que o produto direto do ciclo das pentoses não é glicose, e sim o 3-fosfato gliceraldeído (PGAL).

Destino dos produtos da fotossíntese

O PGAL formado no ciclo das pentoses pode seguir dois caminhos. A maior parte dessa substância sai do cloroplasto para o citosol, onde suas moléculas se unem para formar sacarose. As moléculas de PGAL que permanecem no cloroplasto são convertidas em amido, que é armazenado. À noite, o amido é transformado em sacarose e sai para o citosol da célula fotossintetizante, de onde é exportado para as demais partes do organismo fotossintético.

Parte dos glicídios produzidos na fotossíntese é utilizada imediatamente nas mitocôndrias da própria célula vegetal no processo de respiração celular, fornecendo energia aos processos vitais. Parte dos glicídios é transformada nas diversas substâncias orgânicas de que a planta (ou o organismo fotossintetizante) necessita, como aminoácidos, açúcares, gorduras, celulose etc. Outra parte, ainda, é armazenada na forma de amido dentro de **amiloplastos**, organelas presentes em células do caule e da raiz das plantas.

A fotossíntese garante às algas, às plantas e às bactérias fotossintetizantes total independência em relação a outros organismos vivos no que se refere à obtenção de nutrientes orgânicos. Pelo contrário, praticamente todos os seres heterotróficos da Terra dependem dos seres fotossintetizantes para viver.

7.3 Quimiossíntese

Enfatize que a energia para a vida pode ser proveniente de fontes diferentes da luz; comente com os estudantes que processos como os de quimiossíntese podem ter sido os primeiros a serem utilizados durante a evolução da vida, tendo persistido apenas em uma fração relativamente pequena dos seres atuais.

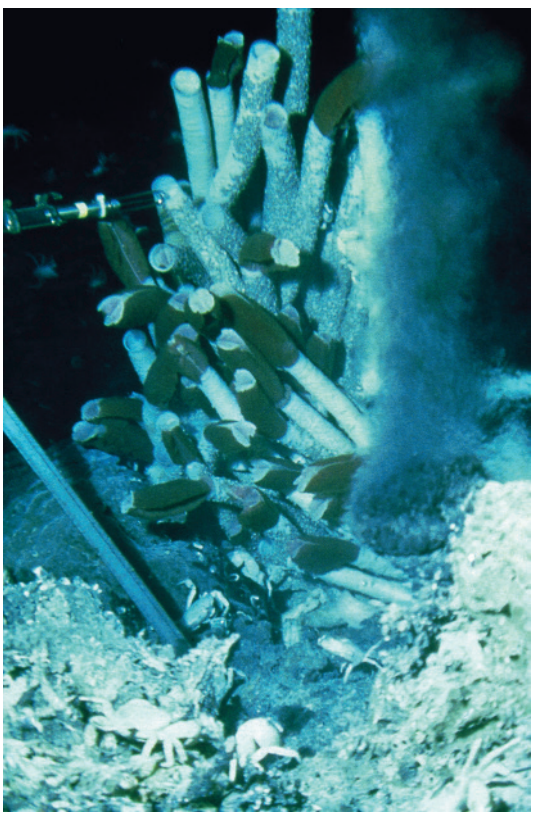
Certas espécies de bactérias e de arqueas (estas últimas antigamente chamadas de arqueobactérias) são autotróficas e produzem substâncias orgânicas por meio da **quimiossíntese**, processo que utiliza energia liberada por reações oxidativas que ocorrem em substâncias inorgânicas simples. Arqueas metanogênicas, por exemplo, obtêm energia a partir da reação entre gás hidrogênio (H_2) e gás carbônico (CO_2), com produção de gás metano (CH_4). Essas arqueas vivem em ambientes pobres em gás oxigênio (anaeróbicos), tais como depósitos de lixo, fundos de pântanos e tubos digestivos de animais. A equação que resume esse processo é:

$$CO_2 + 4\,H_2 \rightarrow CH_4 + 2\,H_2O + \text{energia}$$

Outros exemplos de bactérias quimiossintetizantes são as dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que vivem no solo e têm importância fundamental na reciclagem do elemento nitrogênio na Terra. As nitrosomonas obtêm energia por meio da oxidação da amônia (NH_3) presente no solo, transformando-a em íon de nitrito (NO_2^-).

As nitrobactérias, por sua vez, utilizam o íon de nitrito (NO_2^-), oxidando-o a íon de nitrato (NO_3^-).

As bactérias quimiossintetizantes conseguem viver em ambientes desprovidos de luz e de matéria orgânica, obtendo a energia necessária ao seu desenvolvimento por oxidações inorgânicas. Além de um agente oxidante, essas bactérias necessitam apenas de gás carbônico e água, que constituem as matérias-primas para a produção de glicídios. (Fig. 7.5)



KENNETH L. SMITH JR./GETTY IMAGES

Figura 7.5 O anelídeo *Riftia pachyptila*, que pode chegar a 2 m de comprimento, é encontrado no assoalho oceânico, em ambientes frios e sem luz. Em seu interior vivem bactérias quimiossintetizantes capazes de metabolizar compostos sulfúricos e produzir alimento para o anelídeo e para outros seres que habitam essa região.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

1. A substância química que fornece energia para praticamente todos os processos celulares é o 1. a
a) trifosfato de adenosina (ATP).
b) ácido desoxirribonucleico (DNA).
c) fosfato inorgânico (Pi).
d) fosfato de dinucleotídio de nicotinamida-adenina (NADP).

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 2 a 4.
a) ciclo das pentoses
b) fotofosforilação
c) fotólise da água

2. O(A) (▬) é um conjunto de reações químicas que ocorrem no estroma do cloroplasto, nas quais moléculas de gás carbônico combinam-se a hidrogênios fornecidos pelo NADPH, produzindo PGAL (3-fosfato gliceraldeído). 2. a

3. A reação de quebra de moléculas de água com produção de gás oxigênio, elétrons e íons H^+ é chamada (▬). 3. c

4. O processo denominado (▬) utiliza energia dos elétrons liberados pela clorofila excitada pela luz para a produção de ATP no cloroplasto. 4. b

5. Os átomos de oxigênio das moléculas de gás oxigênio liberadas na fotossíntese provêm 5. a
a) da água, apenas.
b) da glicose, apenas.
c) da água e da glicose, apenas.
d) da água, da glicose e do ATP.

6. A molécula de clorofila, ao ser atingida pela luz, perde elétrons, repostos em seguida pela 6. c
a) degradação de moléculas de ATP.
b) fixação de moléculas de gás carbônico.
c) quebra de moléculas de água.
d) degradação de moléculas de glicose.

Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

7. Observe duas equações válidas para resumir a fotossíntese apresentadas a seguir:

- $6\ CO_2$ (gás carbônico) + $6\ H_2O$ (água) → $C_6H_{12}O_6$ (glicose) + $6\ O_2$ (gás oxigênio)
- $6\ CO_2$ (gás carbônico) + $12\ H_2O$ (água) → $C_6H_{12}O_6$ (glicose) + $6\ O_2$ (gás oxigênio) + $6\ H_2O$ (água)

Qual das equações permite mostrar que todo o gás oxigênio liberado no processo provém da fotólise da água? Por quê?

8. Que argumentos você usaria para convencer uma amiga ou um amigo de que os seres humanos dependem de luz solar para viver? Se preferir, faça um esquema que ilustre essa ideia.

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

9. Atividade prática: Liberação de gás oxigênio na fotossíntese

A fotossíntese é um dos processos mais importantes da natureza. Além de transformar energia luminosa em energia química, que fica armazenada na matéria orgânica que constitui os seres vivos, o processo fotossintético gera, como subproduto, o gás oxigênio que constitui cerca de 21% da atmosfera da Terra. A liberação de gás oxigênio na fotossíntese pode ser demonstrada em um experimento simples e fácil de ser realizado.

Material

- 2 recipientes incolores e transparentes (por exemplo, porções inferiores de garrafas PET de 2 litros ou aquários de vidro pequenos);
- 2 funis grandes de vidro, que caibam nos recipientes pedidos;
- 2 tubos de ensaio (mais longos que o bico do funil);
- massa de modelar;
- bicarbonato de sódio;
- ramos de elódea (*Elodea* sp.);
- luz forte (lâmpada incandescente de, pelo menos, 100 W ou equivalente).

Procedimento

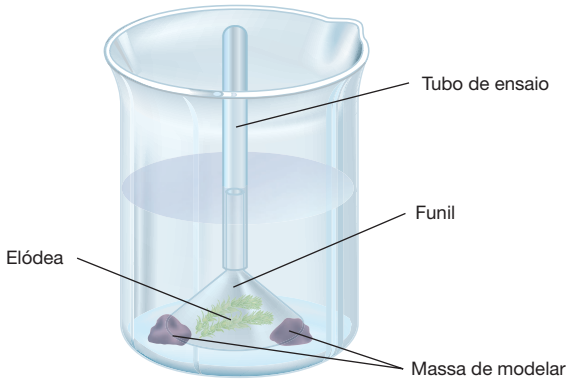
Deverão ser montados dois conjuntos completos, como os descritos a seguir.

1. Prepare uma solução de bicarbonato de sódio para encher os recipientes: para cada litro de água, dissolva cerca de uma colher de sopa de bicarbonato de sódio, o que garantirá o suprimento de gás carbônico para a fotossíntese.
2. Coloque alguns ramos de elódea no funil e mergulhe-o completamente, com o bico para cima, na solução do recipiente.
3. Fixe o funil com massa de modelar de modo a mantê-lo suspenso a um ou dois centímetros do fundo do recipiente.
4. Se necessário, adicione mais solução de bicarbonato de sódio até cobrir completamente o bico do funil.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

5. Encha um tubo de ensaio com água e inverta-o sobre o bico do funil, evitando a entrada de ar em seu interior.

CANÇADO



Montagem dos conjuntos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

6. Mantenha um dos conjuntos iluminado e coloque o outro dentro de uma caixa ou de um armário no qual não entre luz.
7. Observe atentamente o conjunto iluminado, no qual aparecerão bolhas de gás aderidas aos ramos de elódea. As bolhas logo se desprenderão, e o gás passará a se acumular no tubo de ensaio.
8. Quando um volume razoável de gás tiver se acumulado no tubo de ensaio do frasco iluminado, retire o conjunto que permaneceu no escuro e compare-o com o que permaneceu no claro.

Questões

a) O que se pretende testar quando se utilizam dois conjuntos experimentais, um iluminado e outro no escuro? Qual é a importância desse segundo conjunto?

b) Como seria possível demonstrar que o gás acumulado no tubo do conjunto iluminado é gás oxigênio? Pesquise sobre o assunto.

10. Atividade prática: Testando a relação entre a luz e a presença de amido nas folhas de plantas

O produto primário da fotossíntese é um glicídio com três átomos de carbono, que é rapidamente transformado em sacarose e amido. Nas células das folhas, o amido é armazenado nos cloroplastos até que seja necessário ao metabolismo vegetal. Nesta atividade, apresentamos um experimento simples para demonstrar que a presença de amido nas folhas depende da luz e da fotossíntese.

Material

- sementes de feijão;
- álcool etílico 95%;
- placa de aquecimento elétrica ou forno de micro-ondas para o aquecimento da água;
- solução de lugol forte (solução aquosa de 15% de iodeto de potássio – KI – e 3% de iodo – I_2) ou de tintura de iodo;
- pinça para manuseio das folhas;
- papel-alumínio;
- pires ou recipientes de plástico;
- 2 vasos grandes com terra adubada.

Procedimento

1. Duas semanas antes de iniciar o experimento, prepare os dois vasos com terra adubada e plante cerca de 6 sementes de feijão em cada um. Regue sempre, molhando bem a terra, mas sem encharcá-la.
2. Cerca de duas semanas após o plantio, as plantas de feijão já deverão estar com folhas bem desenvolvidas. Escolha um vaso e, com cuidado, envolva totalmente uma folha de cada planta com papel-alumínio, deixando as demais descobertas. No outro vaso, embrulhe duas folhas de cada planta pela metade. Mantenha os vasos expostos à luz natural, em local bem iluminado, por dois dias.
3. Retire das plantas duas folhas que estavam descobertas e mergulhe-as em água fervente por cerca de dois minutos; isso fará com que as células fiquem permeáveis ao álcool.
4. Com uma pinça, retire as folhas da água quente e mergulhe-as no álcool etílico até que os pigmentos sejam totalmente extraídos, tingindo o álcool de verde (esse processo leva cerca de 10 min).
5. Lave as folhas em água para retirar o excesso de álcool e mergulhe-as na tintura de iodo (ou lugol) por 10 min.
6. Retire as folhas da tintura de iodo (ou do lugol), e lave-as em água corrente; mantenha-as imersas em água e identifique-as como "controle". O iodo penetra nas células da folha e reage com os grãos de amido nelas presentes, corando-os em púrpura-escuro. Se uma folha não tiver amido, adquirirá uma tonalidade amarelo-clara.
7. Retire das plantas as folhas que foram mantidas totalmente cobertas com papel-alumínio, descubra-as e submeta-as ao mesmo procedimento realizado com as folhas de controle. Identifique essas folhas como "totalmente cobertas".
8. Utilize o mesmo procedimento com as folhas parcialmente cobertas. Identifique-as como "parcialmente cobertas".

Questões

a) Compare a coloração das folhas de controle com a das folhas que ficaram cobertas por dois dias. Qual é a diferença entre elas? Formule uma explicação para a diferença observada.

b) Observe as folhas que ficaram cobertas pela metade. Qual é a coloração? Explique o aspecto adquirido por elas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (Unesp) Sobre o processo de fotossíntese, é correto afirmar que 1. b

a) o CO_2 é fonte de carbono para a síntese de matéria orgânica e fonte de O_2 para a atmosfera.

b) a água é fonte de H^+ para a síntese de NADPH e de O_2 para a atmosfera.

c) o NADPH é fonte de energia para a conversão do CO_2 em matéria orgânica.

d) o ATP é doador de energia para a quebra da molécula de água, que, por sua vez, fornece O_2 para a atmosfera.

e) a conversão do CO_2 em matéria orgânica produz energia que é acumulada pelo ATP.

2. (Udesc) A fotossíntese é um processo de transformação de energia luminosa em energia química, realizada por organismos autotróficos. Sobre a fotossíntese, é correto afirmar: 2. e

a) Ao final da fotossíntese, são produzidos 38 mols de ATP.

b) Os organismos autotróficos crescem mais sob a luz verde, porque a clorofila é verde.

c) A fotossíntese é um processo dependente de luz e ocorre na ausência da água.

d) Somente plantas vasculares são capazes de realizar a fotossíntese.

e) A unidade fotossintética da planta localiza-se nos tilacoides dos cloroplastos.

3. (Uespi) O cloroplasto é uma "fábrica" que produz um combustível valioso para as células vivas, a partir de substâncias simples, aqui chamadas de "matérias-primas". Determine a alternativa que indica corretamente as matérias-primas e as substâncias produzidas no processo em consideração, nessa ordem 3. a

a) H_2O, CO_2, glicose e O_2.

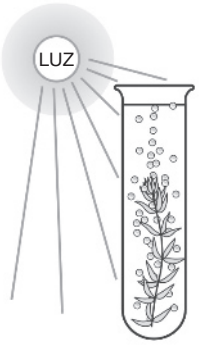
b) CO_2, O_2, glicose e proteína.

c) H_2O, O_2, glicose e proteína.

d) O_2, CO_2, proteína e H_2O.

e) proteína, CO_2, H_2O e O_2.

4. (Cesgranrio-RJ)



(Esquema simplificado.)

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

No experimento com elódea num tubo iluminado, o que são as bolhas? 4. a

a) O_2 resultante de fotólise da água.

b) O_2 resultante da quebra da molécula de CO_2.

c) CO_2 resultante do ciclo de Krebs.

d) CO_2 proveniente do ciclo de Calvin.

e) O_2 proveniente da fotofosforilação.

5. (U. São Judas-SP) Com relação ao fenômeno da fotossíntese, sabe-se que a reação: 5. b

$$2\,H_2O + 2\,NADP \xrightarrow[\text{Clorofila}]{\text{Luz}} 2\,NADPH_2 + O_2\uparrow$$

a) corresponde ao ciclo de Calvin.

b) corresponde à reação de Hill.

c) ocorre em estroma do cloroplasto.

d) é o resultado do ciclo de pentoses.

e) é o resultado do ciclo de Krebs.

Questão discursiva

6. (UFMG) Com o objetivo de estudar a ação da luz na fotossíntese foi realizada a seguinte experiência:

Em um pequeno aquário foi colocada uma única célula da alga verde *Spirogyra*; essa célula tem um longo cloroplasto, em forma de fita espiralada, que ocupa todo o seu comprimento; moléculas de clorofila estão aderidas sobre a membrana do cloroplasto.

Dentro do aquário foram colocadas, também, bactérias móveis que são atraídas para áreas onde existia oxigênio em abundância.

O aquário foi, então, iluminado por um feixe de luz branca que passava por um prisma antes de chegar na célula de *Spirogyra*; a luz branca, ao passar pelo prisma, decompõe-se nas cores básicas, de modo que cada região da célula foi iluminada por uma cor diferente, como mostra a figura a seguir.

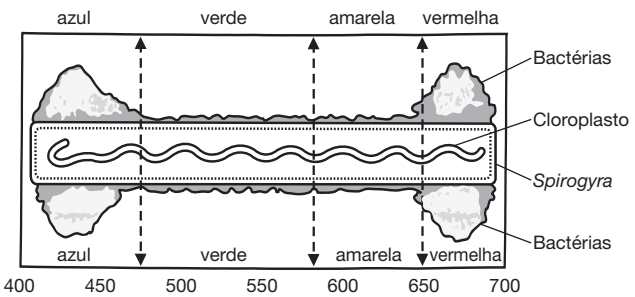


ILUSTRAÇÃO: CANÇADO

a) Explique por que as bactérias se acumulam nas áreas indicadas na figura.

b) Se a *Spirogyra* fosse iluminada diretamente por um feixe de luz branca, o que aconteceria com a distribuição das bactérias? Justifique sua resposta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 8

Fermentação e respiração aeróbica

DAVID BLAIR/ZUMA PRESS/CORBIS/LATINSTOCK

Prova dos 1.500 m no Campeonato Mundial de Atletismo em Pista Coberta de 2016, no Oregon, EUA.

Respirar para quê?

O que acontece quando respiramos? O que tem o ar atmosférico de fundamental à nossa vida? Se você respondeu que precisamos do gás oxigênio presente no ar, acertou. Entretanto, podemos aprofundar um pouco mais a pergunta: qual é o papel do gás oxigênio em nosso organismo? Para responder a essa questão, é preciso entender alguns detalhes sobre a respiração.

Vamos começar com um pouco de história. Foi apenas a partir de 2,5 bilhões de anos atrás que a concentração de gás oxigênio atmosférico, praticamente inexistente na Terra até então, aumentou progressivamente até atingir a porcentagem atual, em torno de 21%. Os responsáveis pela produção de gás oxigênio foram os seres fotossintetizantes, que ainda hoje são essenciais para a reposição desse gás no ambiente, de onde é continuamente consumido pela grande maioria dos seres vivos.

Os cientistas acreditam que, ao se acumular na atmosfera da Terra primitiva, o gás oxigênio, devido ao seu alto poder oxidante, levou à destruição em massa de muitas formas de vida. Nesse ambiente em transformação, sobreviveram, preferencialmente, seres dotados de sistemas químicos antioxidantes, alguns dos quais evoluíram de modo a aproveitar o poder oxidante do gás oxigênio para quebrar moléculas orgânicas e produzir energia utilizável pelo metabolismo. Surgia, assim, a respiração aeróbica, isto é, que utiliza gás oxigênio.

Quando nos referimos à respiração, podemos pensar em dois níveis distintos. O primeiro é o nível do organismo: ao respirar, fazemos o ar entrar em nossos pulmões e, nesses órgãos, o gás oxigênio é capturado pelas células vermelhas do sangue e transportado para cada uma de nossas células. Nelas ocorre um segundo nível do processo respiratório, denominado respiração celular. Dentro das células, o gás oxigênio penetra em organelas citoplasmáticas denominadas mitocôndrias, nas quais exerce seu papel oxidante, capaz de auxiliar na extração de energia de moléculas orgânicas originalmente provenientes do alimento.

Pela respiração celular, a energia contida em substâncias alimentares é transferida para moléculas de ATP e nelas armazenada. Essas moléculas são capazes de suprir energeticamente diferentes processos celulares. Assim, em linhas gerais, o processo respiratório permite aos seres vivos obter e mobilizar com grande eficiência a energia originalmente presente nos alimentos, condição fundamental à vida.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Neste capítulo, estudaremos o segundo nível respiratório a que nos referimos anteriormente: a respiração celular aeróbica. O processo respiratório é um intrincado jogo de transformações moleculares das quais participa o gás oxigênio. Graças ao poder oxidante desse gás, é possível extrair com alta eficiência a energia contida em substâncias orgânicas, transferindo-a, via ATP, para processos metabólicos.

Veremos, também, as linhas gerais de um processo de obtenção de energia anaeróbico, isto é, que não utiliza oxigênio: a fermentação. O processo fermentativo, acredita-se, desenvolveu-se há bilhões de anos, provavelmente antes da respiração. Uma evidência disso é que as reações iniciais da respiração são as mesmas que ocorrem na fermentação.

A fermentação ainda é empregada por certos fungos e bactérias como forma de obter energia. Curiosamente, em certas situações, nossas células também utilizam-se da fermentação. Quando nossas células musculares são intensamente exigidas, a ponto de o sistema respiratório não conseguir supri-las totalmente com o gás oxigênio necessário à respiração, os músculos obtêm parte da energia por um tipo de fermentação que forma, como produto final, ácido lático. É essa substância que, ao se acumular após exercícios físicos muito intensos, causa uma dor típica nos músculos duramente exigidos. Aprenda um pouco sobre a natureza bioquímica da respiração aeróbica e da fermentação ao estudar este capítulo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

8.1 Fermentação como forma de obter energia

A respiração celular e a fermentação são temas que podem ser trabalhados em diferentes níveis de detalhamento, dependendo da disponibilidade de tempo. Deve-se buscar a compreensão pelos estudantes de que as moléculas orgânicas necessitam ser quebradas em compostos mais simples para que sua energia utilizável seja transferida para as moléculas de ATP.

Certos fungos e bactérias adaptados a ambientes pobres em gás oxigênio obtêm energia pela **fermentação**, processo em que substâncias orgânicas são degradadas parcialmente, originando moléculas orgânicas menores.

O fungo *Saccharomyces cerevisiae*, uma levedura conhecida popularmente como fermento de padaria ou levedo de cerveja, recorre à fermentação para obter energia quando o gás oxigênio é escasso no ambiente. Nesse processo, o levedo produz álcool etílico (etanol) e gás carbônico como subprodutos. Os lactobacilos, bactérias que fermentam o leite, utilizam a lactose do leite para obter energia e produzem ácido lático como subproduto. Em células musculares também pode ocorrer fermentação lática; isso acontece quando a demanda de energia é muito grande e não há gás oxigênio suficiente para sustentar a respiração celular.

A fermentação geralmente tem como ponto de partida uma molécula de glicose, a qual é formada por 6 carbonos encadeados. Ao fim de dez reações sequenciais, a glicose origina duas moléculas de uma substância constituída por 3 carbonos, o **ácido pirúvico**. O conjunto de reações em que uma molécula de glicose é transformada em duas moléculas de ácido pirúvico compõe a **glicólise** (do grego *glykys*, doce, açúcar, e *lysis*, quebra).

Apesar de a molécula de glicose ser altamente energética, ela é bastante estável e não se degrada com facilidade. Por isso, as reações iniciais do processo de glicólise têm por função "ativar" a glicose, levando-a a reagir. A ativação ocorre pela transferência de dois grupos fosfato de alta energia para a molécula de glicose; esses fosfatos são provenientes de duas moléculas de ATP. Assim, para iniciar a glicólise, a célula precisa "investir" o equivalente a 2 ATP por molécula de glicose. (Fig. 8.1)

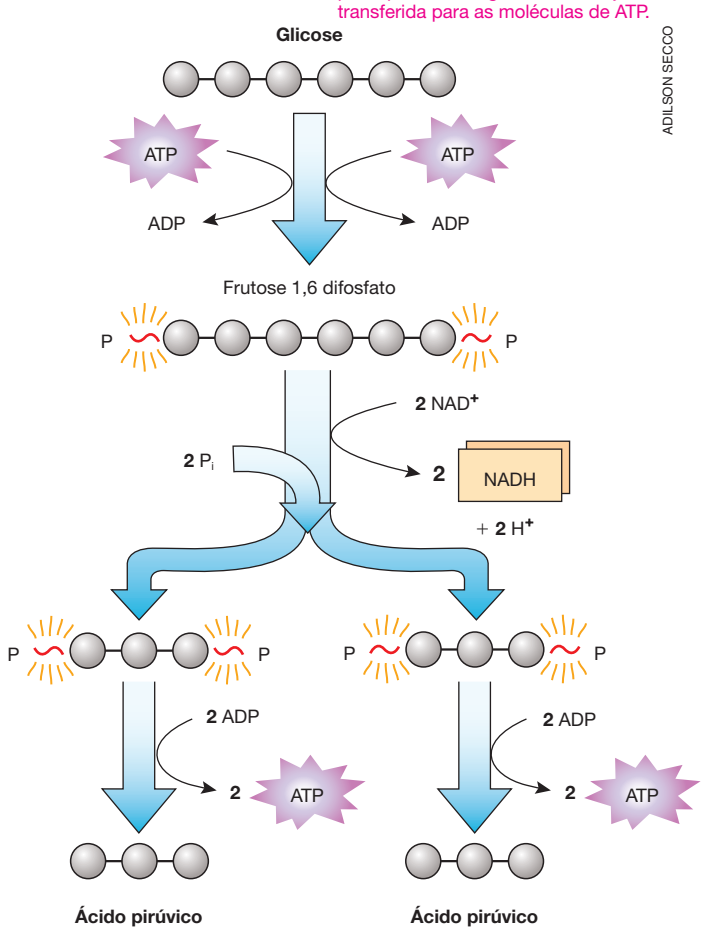


Figura 8.1 Esquema das etapas da glicólise.

Nas reações finais da glicólise, a célula recupera "com juros" o investimento energético inicial, pois consegue sintetizar 4 moléculas de ATP a partir da energia liberada na degradação da glicose. Ao final do processo, o rendimento energético líquido da glicólise é de 2 moléculas de ATP por molécula de glicose metabolizada.

Tipos de fermentação

Dependendo do tipo de organismo fermentador, o ácido pirúvico produzido na glicólise segue diferentes caminhos. Por exemplo, na fermentação alcoólica, realizada por leveduras, o ácido pirúvico transforma-se em álcool etílico e gás carbônico. Na fermentação lática realizada por bactérias como os lactobacilos, o ácido pirúvico transforma-se em ácido lático. Confira as equações gerais desses dois tipos de fermentação:

Fermentação alcoólica

$$\underset{\text{Glicose}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{Ácido pirúvico}}{2\ CH_3 — CO — COOH} + 4\ H^+ + 4\ e^- \rightarrow \underset{\text{Etanol}}{2\ CH_3 — CH_2OH} + \underset{\text{Gás carbônico}}{2\ CO_2}$$

Fermentação lática

$$\underset{\text{Glicose}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{Ácido pirúvico}}{2\ CH_3 — CO — COOH} + 4\ H^+ + 4\ e^- \rightarrow \underset{\text{Ácido lático}}{2\ CH_3 — CHOH — COOH}$$

Na glicólise, além de ácido pirúvico, são liberados 4 íons de hidrogênio (4 H^+) e 4 elétrons com alta energia (4 e^-). Esses produtos são capturados por um aceptor de hidrogênio (ou de elétrons) que participa da fermentação: o **NAD^+** (do inglês, ***n**icotinamide **a**denine **d**inucleotide*: dinucleotídio de nicotinamida-adenina).

O NAD^+ é um aceptor de elétrons semelhante aos aceptores estudados na fotossíntese: sua função é receber elétrons e íons de hidrogênio, transferindo-os posteriormente para outras moléculas que serão sintetizadas.

Em uma das etapas da glicólise, duas moléculas de NAD^+ recebem elétrons e íons H^+, transformando-se em NADH. Veja na equação a seguir.

$$2\ H^+ + 4\ e^- + 2\ NAD^+ \rightarrow 2\ NADH$$

Na fase final da fermentação, os elétrons e os íons de hidrogênio capturados pelo NAD^+ são transferidos para o ácido pirúvico. Nessa reação, o ácido pirúvico transforma-se em álcool etílico e gás carbônico (na fermentação alcoólica) ou em ácido lático (na fermentação lática). (Fig. 8.2)

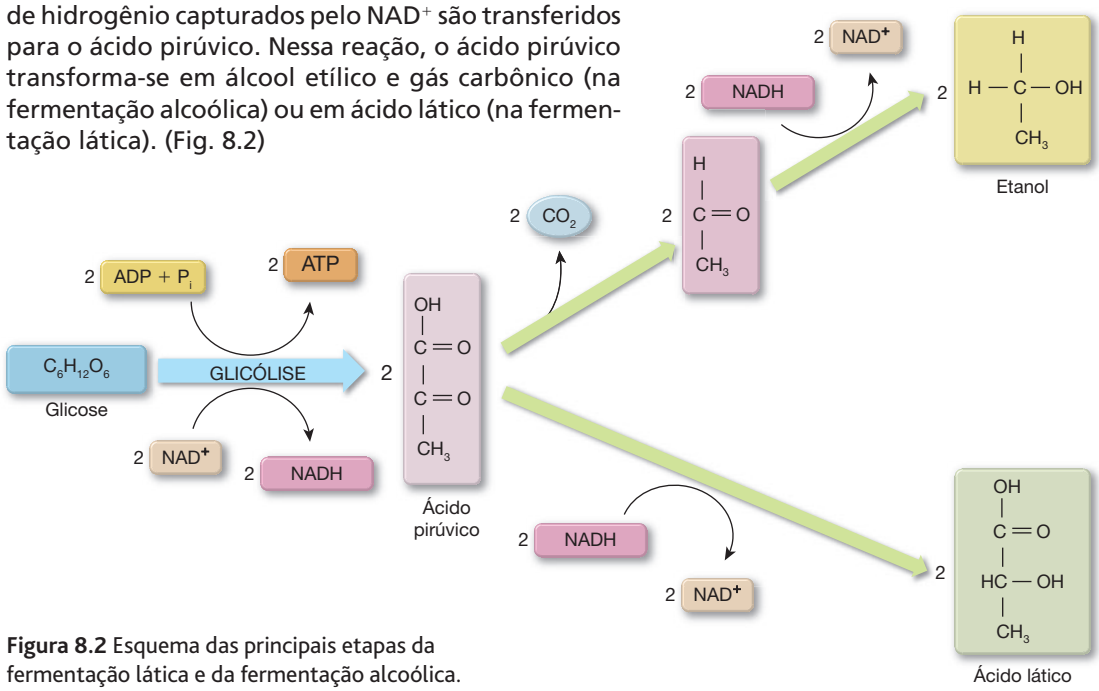


Figura 8.2 Esquema das principais etapas da fermentação lática e da fermentação alcoólica.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ciência e cidadania

A importância da fermentação para a humanidade

Este quadro traz informações básicas sobre os processos fermentativos. Temas como esse possibilitam integrar o conteúdo visto na sala de aula ao cotidiano do estudante.

1 A "domesticação" e a utilização de microrganismos fermentadores pela espécie humana datam de milhares de anos. O pão e o vinho, os mais tradicionais alimentos da humanidade, são produtos da fermentação realizada por leveduras do gênero *Saccharomyces*. Diversas espécies de fungos e de bactérias podem fermentar vários tipos de substratos, gerando produtos finais que dependem tanto do organismo que realiza o processo quanto das substâncias fermentadas.

2 Na panificação, a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, misturada à farinha, fermenta carboidratos produzindo etanol (álcool etílico) e gás carbônico. Esse gás é liberado na forma de minúsculas bolhas que se dilatam durante o cozimento, tornando a massa macia e leve. Algumas receitas de pães e bolos utilizam, em vez de leveduras, bicarbonato de sódio. Esse composto, conhecido como fermento químico, produz bolhas de gás carbônico que também tornam a massa macia e leve, mas sem o valor nutricional conferido pelas leveduras.

STUDIO SCHIERMANN/STOCKFOOD/GLOW IMAGES

O fungo *Saccharomyces cerevisiae* constitui o fermento biológico, que produz gás carbônico durante a fermentação; é esse gás que faz a massa do pão crescer.

3 As bebidas alcoólicas resultam da fermentação dos açúcares de frutos ou de sementes por leveduras, que liberam etanol e gás carbônico no processo. A produção de cerveja, por exemplo, utiliza a fermentação de açúcares provenientes da degradação do amido presente nas sementes de cevada ou de trigo. Os agentes fermentadores, nesse caso, são leveduras das espécies *Saccharomyces cerevisiae* ou *Saccharomyces carlsbergensis*. Na produção do vinho, o substrato é o suco de uvas e o agente fermentador, a levedura *Saccharomyces ellipsoideus*, presente naturalmente na superfície das uvas maduras. No México, um tipo de cerveja conhecido como pulque é produzido desde tempos pré-colombianos pela fermentação de plantas do gênero *Agave* por leveduras e lactobacilos. O destilado resultante do produto dessa fermentação é a popular tequila. O vinho de arroz dos japoneses, conhecido como saquê, resulta da ação de leveduras sobre os açúcares gerados pela degradação do amido de grãos de arroz pelo fungo *Aspergillus oryzae*.

4 Produtos da fermentação do leite têm história tão antiga quanto a dos vinhos, cervejas e pão, uma vez que o leite é um excelente substrato para o desenvolvimento de diversos tipos de microrganismos. A fermentação lática é largamente utilizada na produção de laticínios como queijos, coalhadas e iogurtes. Diversos tipos de queijo são fabricados utilizando leite previamente coagulado pela enzima renina, obtida do estômago de mamíferos. Após a drenagem do fluido (soro), a massa coagulada, composta basicamente de caseína (a proteína do leite), é inoculada com a linhagem de bactéria correspondente ao tipo de queijo que se deseja obter. Substâncias produzidas e eliminadas pelas bactérias fermentadoras são responsáveis pelo sabor e aroma característicos de cada tipo de queijo. Por exemplo, na produção do queijo suíço é empregada a bactéria *Propionibacterium freudenreichii*, que libera, como produto da fermentação da lactose do leite, ácido propiônico e gás carbônico, responsáveis pelo sabor característico e pelas cavidades típicas desse tipo de queijo.

5 Iogurtes comerciais são produzidos a partir de leite desnatado concentrado, obtido por evaporação a vácuo. O leite é inoculado com uma mistura das bactérias *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* e incubado a 45 °C por várias horas. Durante esse tempo, o estreptococo produz ácido lático a partir da fermentação da lactose do leite; o lactobacilo produz a maior parte das substâncias que conferem cremosidade, sabor e aroma característicos do iogurte. Um dos segredos da fabricação de um bom iogurte é o equilíbrio entre a multiplicação dessas duas espécies de bactéria; em certos casos, leveduras também podem participar do processo.

6 O sabor característico da manteiga resulta da atividade de uma espécie de estreptococo que libera uma substância chamada acetoína, presente também em alguns iogurtes. A produção de certos embutidos de carne, como o salame, demanda a ação fermentativa de bactérias do gênero *Pediococcus*, cuja produção de ácido lático contribui para o sabor e para a elevada capacidade de conservação desses alimentos. Vinagres são, em geral, produzidos por ação de bactérias fermentadoras, principalmente dos gêneros *Acetobacter* e *Acetomonas*, que convertem etanol em ácido acético, processo conhecido como fermentação acética.

7 A fermentação também está envolvida na produção do chocolate. As sementes de frutos do cacau recém-colhidos têm seus carboidratos fermentados primeiro por leveduras e, depois, por bactérias láticas e acéticas. Em seguida, elas são secas, torradas e processadas. A fermentação é necessária para que se formem as substâncias que dão o sabor típico do chocolate. O molho de soja, ingrediente indispensável nas culinárias chinesa e japonesa, é produto da fermentação de açúcares e outros compostos de sementes de soja pelo fungo *Aspergillus oryzae*.

OWEN FRANKEN/CORBIS/LATINSTOCK

A fermentação das sementes de frutos do cacau (*Theobroma cacao*) é um processo necessário na produção do chocolate.

8 A aplicação em larga escala de processos fermentativos ganha cada vez mais destaque em decorrência do desenvolvimento econômico e do aumento da demanda de energia e de insumos químicos. O programa brasileiro de produção de etanol combustível utiliza a fermentação do melaço de cana por leveduras do gênero *Saccharomyces*. Acetona e butanol, importantes solventes empregados nas indústrias química e farmacêutica, são produzidos na fermentação de melaço de cana pela bactéria *Clostridium acetobutylicum*. O ácido cítrico, largamente empregado pela indústria de refrigerantes, é produzido pela fermentação do melaço de cana por bactérias do gênero *Aspergillus*.

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1 Leia o primeiro e o segundo parágrafos do quadro, que se referem à panificação, e responda:

a) Qual é o agente fermentador?

b) Trata-se de um fungo ou de uma bactéria?

c) Qual é o substrato fermentado?

d) Qual(is) é(são) o(s) produto(s) de interesse nesse caso?

2 Leia o terceiro parágrafo, que trata da fabricação de bebidas alcoólicas. Utilize os mesmos critérios da questão anterior, itens de **a)** a **d)**, para fazer uma tabela que relacione os seguintes produtos da fermentação tratados no texto: cerveja, vinho, tequila, saquê. Atenção: você continuará a completar essa tabela nos itens a seguir; deixe espaço para mais cinco linhas.

3 Leia o quarto e o quinto parágrafos do quadro, que se referem à fermentação na produção de laticínios, e responda:

a) Qual é a função da enzima renina na fabricação de queijos?

b) Continue a completar a tabela que você fez na questão anterior, acrescentando os seguintes produtos da fermentação: queijo suíço e iogurte.

4 Leia o sexto parágrafo e continue a completar a tabela, acrescentando mais um produto: o vinagre.

5 No sétimo parágrafo, encontre mais informações para completar sua tabela com os seguintes produtos da fermentação: chocolate e molho de soja.

6 Leia o oitavo e último parágrafo do quadro, que comentam a importância da fermentação na indústria de álcool combustível e de outras substâncias produzidas em larga escala. Você está informado sobre a produção de etanol combustível no Brasil? Considere esse tema para uma pesquisa.

8.2 A respiração aeróbica

A **respiração aeróbica** é um processo em que moléculas orgânicas provenientes do alimento são degradadas com a participação de gás oxigênio (O_2), levando à formação de gás carbônico (CO_2) e água (H_2O); nesse processo, é liberada energia para a síntese de moléculas de ATP.

A equação geral da respiração aeróbica é:

$$\underset{\text{Glicose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Gás oxigênio}}{6\ O_2} \longrightarrow \underset{\text{Gás carbônico}}{6\ CO_2} + \underset{\text{Água}}{6\ H_2O} + \text{energia no ATP}$$

Note que essa equação corresponde, quanto a reagentes e produtos, ao inverso da fotossíntese. Além disso, ela representa também a combustão total da glicose, com a diferença de que a energia liberada na combustão ocorre na forma de calor e luz, enquanto na respiração aeróbica grande parte dessa energia é armazenada nas moléculas de ATP.

A equação geral apresenta um resumo muito simplificado da respiração aeróbica. Na verdade, esta se compõe de diversas etapas enzimaticamente controladas, durante as quais a energia potencial química da glicose é liberada aos poucos e armazenada nas moléculas de ATP.

Rendimento e etapas da respiração aeróbica

A respiração aeróbica tem rendimento cerca de 15 vezes maior que o da fermentação: enquanto esta leva à produção de 2 moléculas de ATP por molécula de glicose, na respiração aeróbica, uma única molécula de glicose libera energia suficiente para a síntese de aproximadamente 30 moléculas de ATP.

A que se pode atribuir essa diferença de rendimento energético entre os dois processos? A resposta está no grau em que a glicose é degradada. Na fermentação, ocorre degradação parcial e os produtos, como o álcool etílico ou o ácido lático, ainda têm muita energia acumulada. Na respiração aeróbica, a cadeia carbônica da molécula de glicose é totalmente degradada a gás carbônico e água, substâncias inorgânicas com pouca energia potencial química para liberar.

O alto rendimento da respiração aeróbica, associado à abundância de gás oxigênio na atmosfera terrestre, fez com que esse processo de obtenção de energia representasse uma grande vantagem evolutiva, estando presente quase universalmente nos seres da biosfera: algas, plantas, protozoários, animais e muitos fungos e bactérias.

A respiração aeróbica da glicose compõe-se de três etapas: **glicólise**, **ciclo de Krebs** e **fosforilação oxidativa**. A glicólise ocorre no citosol, fluido que compõe o citoplasma; em células eucarióticas, o ciclo de Krebs e a fosforilação oxidativa ocorrem no interior das mitocôndrias (relembre a Fig. 5.19 no capítulo 5).

Fase citoplasmática da respiração: glicólise

A glicólise é a fase preparatória da degradação da glicose, produzindo substâncias que entrarão na mitocôndria para as reações seguintes, que envolvem o gás oxigênio. Como vimos, a glicólise consiste na quebra da molécula de glicose em duas moléculas de ácido pirúvico[1], com saldo líquido de duas moléculas de ATP. Na glicólise, formam-se também duas moléculas de NADH, a partir do NAD^+, e são liberados elétrons e íons H^+.

A glicólise não necessita de gás oxigênio para ocorrer. As etapas seguintes da respiração, porém, só ocorrem se houver disponibilidade de gás oxigênio. Na falta dele, o ácido pirúvico é transformado, ainda no citosol, em ácido lático ou em etanol e gás carbônico, dependendo do tipo de organismo.

1 Por conveniência, sempre nos referimos aos ácidos em sua forma não dissociada. Entretanto, nas condições do meio intracelular, os ácidos estão, em sua maior parte, dissociados em íons H^+ e íons negativos, no caso, o piruvato ($C_3H_3O_3^-$).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fase mitocondrial da respiração aeróbica

Se houver gás oxigênio disponível na célula, o ácido pirúvico produzido na glicólise é transportado para dentro da mitocôndria, onde reage com uma substância denominada **coenzima A** (CoA). Nessa reação, formam-se **acetilcoenzima A** (acetilCoA, molécula constituída por dois átomos de carbono) e gás carbônico (CO_2). Participa do processo uma molécula de NAD^+, que se transforma em NADH ao capturar dois elétrons de alta energia e um dos dois íons H^+ liberados na reação:

$$\text{Ácido pirúvico} + \text{CoA} + NAD^+ \rightarrow \text{AcetilCoA} + \text{NADH} + CO_2 + H^+$$

Ciclo de Krebs ou ciclo do ácido cítrico

A acetilCoA é o ponto de partida para um conjunto de reações que compõem o **ciclo de Krebs**, também conhecido como **ciclo do ácido cítrico**. A primeira denominação homenageia seu descobridor, o bioquímico alemão Hans Adolf Krebs (1900-1981); a segunda refere-se à primeira substância formada no ciclo, o ácido cítrico.

Assim que se forma na mitocôndria, cada molécula de acetilCoA reage com uma molécula de ácido oxalacético também presente na organela. Nessa reação, a coenzima A é liberada e forma-se uma molécula de ácido cítrico, o primeiro reagente a participar do ciclo. Ao longo de oito reações, são liberadas duas moléculas de gás carbônico, elétrons de alta energia e íons H^+. Ao final, forma-se novamente ácido oxalacético, que pode se combinar a outra acetilCoA e reiniciar o ciclo.

Durante as reações do ciclo de Krebs, elétrons de alta energia e íons H^+ são capturados por moléculas de NAD^+, que se transformam em NADH. Também participa do ciclo de Krebs outro tipo de aceptor de elétrons, o **FAD** (do inglês ***f**lavine **a**denine **d**inucleotide*: dinucleotídio de flavina-adenina), que se transforma em **$FADH_2$**. Ao longo do ciclo, são formados 3 NADH e 1 $FADH_2$.

Em uma das etapas do ciclo, a energia liberada permite a formação direta de uma molécula de trifosfato de guanosina, ou GTP (do inglês ***g**uanosine **t**riphos**ph**ate*), a partir de GDP (difosfato de guanosina) e P_i. O GTP é muito semelhante ao ATP, diferindo dele apenas por apresentar a base nitrogenada guanina em vez de adenina. O GTP fornece energia para alguns processos celulares, como a síntese de proteínas. Também pode ser convertido em ATP pela transferência de seu fosfato energético para um ADP.

Em resumo, no ciclo de Krebs são formados 2 CO_2 + 3 NADH + 1 $FADH_2$ + 1 GTP (equivalente a 1 ATP). (Fig. 8.3)

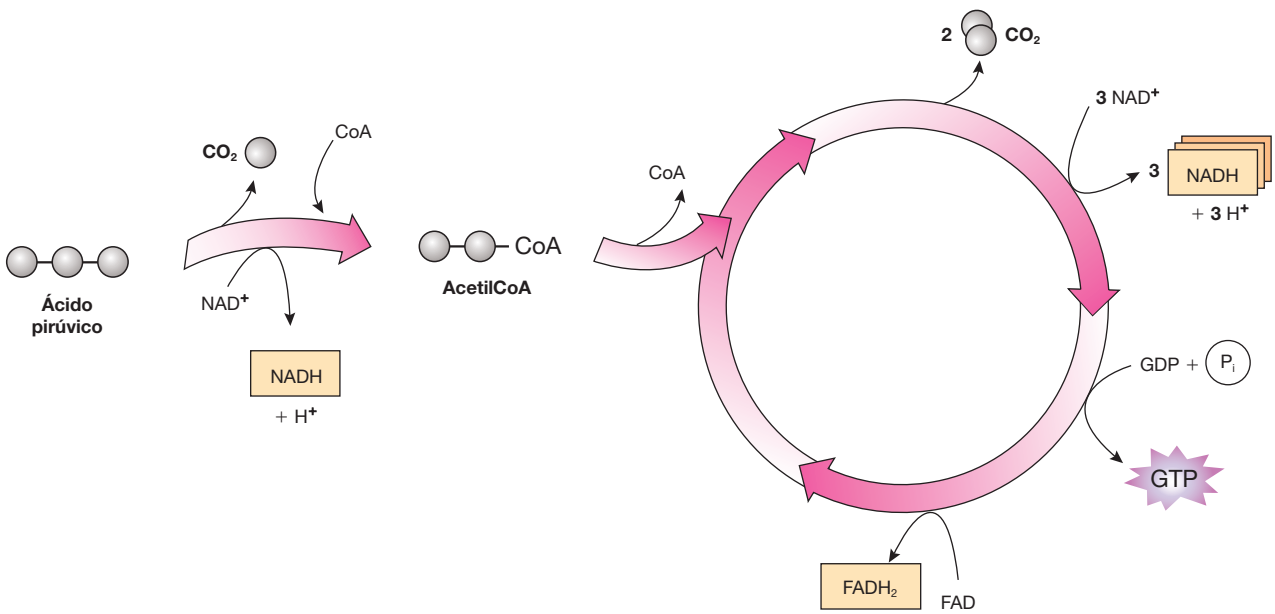


Figura 8.3 Esquema das transformações do ácido pirúvico. No interior da mitocôndria, o ácido pirúvico origina acetilCoA, que participa da sequência de reações químicas do ciclo de Krebs (ou ciclo do ácido cítrico).

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Fosforilação oxidativa

A síntese da maior parte do ATP produzido na respiração aeróbica ocorre na transferência de elétrons e de íons de hidrogênio das moléculas de NADH e $FADH_2$ para átomos provenientes do gás oxigênio; essa reação leva à formação de moléculas de água, como está resumido nas equações a seguir:

$$2\ NADH + 2H^+ + O_2 \rightarrow 2\ NAD^+ + 2\ H_2O$$

$$2\ FADH_2 + O_2 \rightarrow 2\ FAD + 2\ H_2O$$

A energia liberada pelos elétrons durante sua transferência até o gás oxigênio é utilizada para produzir ATP. A expressão **fosforilação oxidativa** refere-se exatamente à adição de fosfato ao ADP para formar ATP, uma reação de fosforilação. Ela é denominada oxidativa porque ocorre em diversas reações de oxidação sequenciais, sendo o gás oxigênio (O_2) o último agente oxidante dessa cadeia de reações.

O processo de transferência de elétrons e de íons H^+ do NADH (e do $FADH_2$) para o gás oxigênio é realizado por quatro grandes complexos de proteína, que se dispõem em sequência na membrana interna da mitocôndria. Entre os componentes dessas proteínas, destacam-se os citocromos, que têm ferro em sua composição. Cada conjunto sequencial de transferidores de elétrons é denominado **cadeia transportadora de elétrons**, que, nesse caso, também recebe o nome de **cadeia respiratória**.

Durante a passagem pela cadeia respiratória, os elétrons liberam gradativamente energia, que é utilizada para bombear íons H^+ da matriz mitocondrial para o espaço entre as duas membranas da organela. Os íons H^+ acumulados "à força" no espaço entre as membranas mitocondriais tendem a se difundir de volta para a matriz mitocondrial, mas só podem fazer isso passando pela sintase do ATP, presente na membrana interna da mitocôndria.

O mecanismo é o mesmo que ocorre nos tilacoides dos cloroplastos. Como vimos no capítulo anterior, a sintase do ATP é comparável a um gerador molecular acionado pela passagem dos íons H^+, quando produz moléculas de ATP a partir de ADP e P_i. Esse mecanismo de produção de ATP, comprovado em diversos experimentos, é conhecido como **teoria quimiosmótica** para a síntese de ATP. (Fig. 8.4)

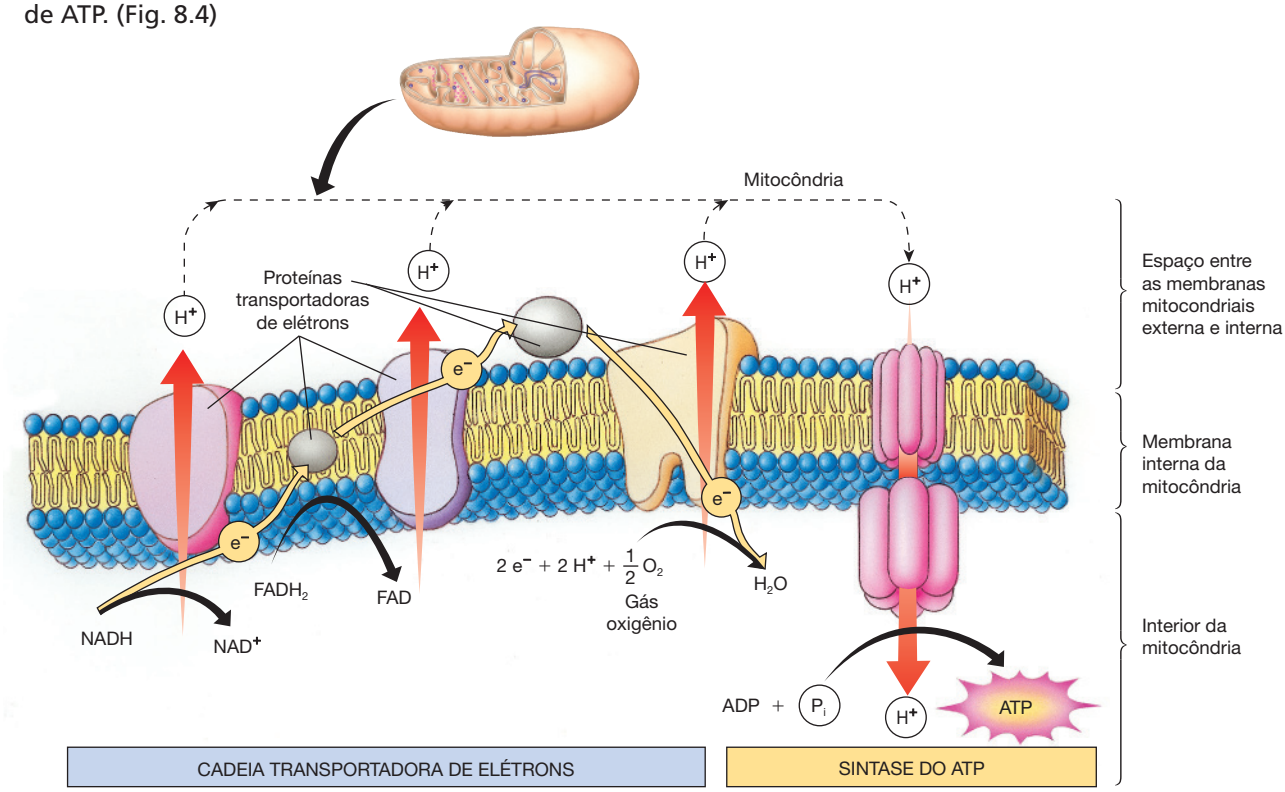


Figura 8.4 Representação esquemática de detalhe dos conjuntos transportadores da cadeia respiratória e da sintase do ATP. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

JURANDIR RIBEIRO

Ao retornar à matriz mitocondrial, os íons H^+ combinam-se a elétrons que foram "desenergizados" ao longo da cadeia respiratória e a átomos de oxigênio provenientes do O_2, com formação de moléculas de água (H_2O). (Fig. 8.5)

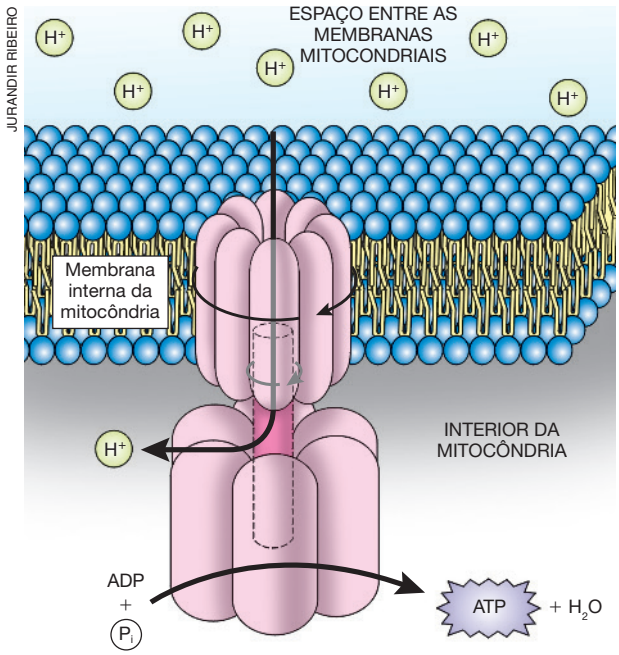


Figura 8.5 Representação esquemática da enzima sintase do ATP, de acordo com a teoria quimiosmótica. A enzima utiliza o potencial de difusão dos íons H^+ que haviam sido forçados a se acumular no espaço entre as membranas mitocondriais, durante a cadeia respiratória, para produzir ATP. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

A energia liberada pelos elétrons de alta energia em sua passagem pela cadeia respiratória pode formar, teoricamente, 34 moléculas de ATP; em condições normais, no entanto, o rendimento é menor, formando até um máximo de 26 moléculas de ATP. Somando essas 26 moléculas aos 2 ATP formados na glicólise e aos 2 formados no ciclo de Krebs (um GTP para cada acetilCoA), chega-se a um rendimento máximo de 30 moléculas de ATP por molécula de glicose, embora o rendimento teórico seja de 38 ATP por molécula de glicose. (Fig. 8.6)

Outras substâncias capazes de fornecer energia por meio da respiração aeróbica são os lipídios. Antes de serem utilizadas, as moléculas de ácido graxo são transportadas para o interior das mitocôndrias, onde se transformam em moléculas de acetilCoA, que entram no ciclo de Krebs.

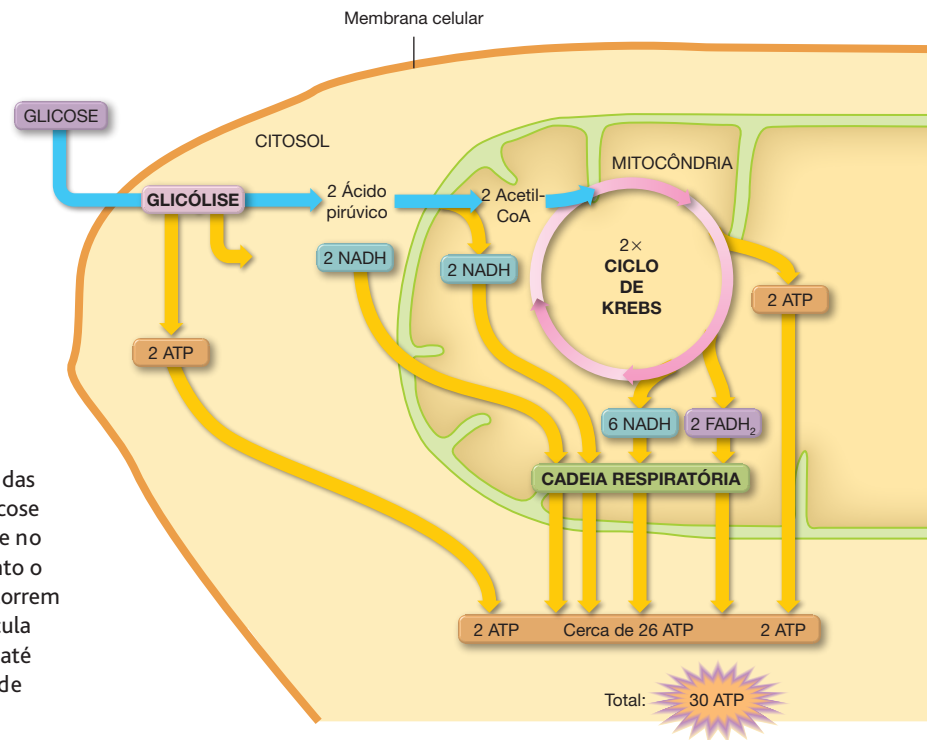


Figura 8.6 Representação esquemática das etapas do metabolismo aeróbico da glicose com produção de ATP. A glicólise ocorre no fluido citoplasmático, o citosol, enquanto o ciclo de Krebs e a cadeia respiratória ocorrem no interior da mitocôndria. Cada molécula de glicose metabolizada pode produzir até 30 ATP. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 1 a 7.

a) cadeia respiratória
b) ciclo de Krebs
c) fermentação
d) fosforilação oxidativa
e) fotossíntese
f) glicólise
g) respiração aeróbica

1. ([redacted]) é o processo de síntese de substâncias orgânicas a partir de água, gás carbônico e energia luminosa. 1. e

2. ([redacted]) é um processo de obtenção de energia em que as moléculas orgânicas são parcialmente degradadas, com rendimento energético relativamente baixo. 2. c

3. ([redacted]) é um conjunto de reações sequenciais que ocorrem nas mitocôndrias e cujo primeiro participante é o ácido cítrico. 3. b

4. O processo de produção de ATP na mitocôndria, denominado ([redacted]), utiliza energia dos elétrons provenientes da degradação de moléculas orgânicas. 4. d

5. ([redacted]) corresponde a um conjunto de substâncias presentes na membrana interna das mitocôndrias, por onde passam sequencialmente elétrons energizados provenientes das moléculas orgânicas degradadas. 5. a

6. Realizado(a) pela ampla maioria dos seres vivos, o(a) ([redacted]) é um processo de obtenção de energia em que moléculas orgânicas ricas em energia são totalmente degradadas em gás carbônico e água. 6. g

7. O(A) ([redacted]) é um conjunto sequencial de reações que ocorrem no citosol, em que uma molécula de glicose é degradada em duas moléculas de ácido pirúvico. 7. f

8. Qual das alternativas indica corretamente os compartimentos celulares em que ocorrem as diversas etapas da respiração celular? 8. d

	Ciclo de Krebs	Glicólise	Fosforilação oxidativa
a)	Citosol	Mitocôndria	Citosol
b)	Mitocôndria	Mitocôndria	Mitocôndria
c)	Mitocôndria	Citosol	Citosol
d)	Mitocôndria	Citosol	Mitocôndria

9. Qual conjunto de reações é responsável pela produção da maior parte do CO_2 liberado no metabolismo das células musculares em uma atividade leve e com suprimento de O_2 adequado? 9. b

a) Glicólise.
b) Ciclo de Krebs.
c) Fermentação lática.
d) Fosforilação oxidativa.

10. Qual etapa metabólica ocorre tanto na respiração aeróbica quanto na fermentação? 10. d

a) Transformação do ácido pirúvico em ácido lático.
b) Produção de ATP por fosforilação oxidativa.
c) Ciclo de Krebs.
d) Glicólise.

11. Fisiologistas esportivos de um centro de treinamento olímpico desejam determinar a partir de que ponto os músculos dos atletas deixam de receber a quantidade necessária de gás oxigênio e começam a suplementar a energia pela fermentação. Eles podem fazer isso investigando, nos músculos, o aumento de qual substância? 11. d

a) ATP.
b) ADP.
c) Gás carbônico.
d) Ácido lático.

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões de 12 a 14.

a) $C_6H_{12}O_6$ (glicose) + 6 O_2 (gás oxigênio) → 6 CO_2 (gás carbônico) + 6 H_2O (água)
b) 6 CO_2 (gás carbônico) + 12 H_2O (água) → $C_6H_{12}O_6$ (glicose) + 6 O_2 (gás oxigênio) + 6 H_2O (água)
c) $C_6H_{12}O_6$ (glicose) → 2 H_5C_2OH (etanol) + 2 CO_2 (gás carbônico)

12. Qual alternativa representa a equação da respiração celular? 12. a

13. Qual alternativa representa a equação da fotossíntese realizada por algas e plantas? 13. b

14. Qual alternativa contém a equação da fermentação realizada pelo fermento biológico? 14. c

15. Imagine o ciclo de Krebs como um carrossel de substâncias químicas em transformação. A substância que dá início ao ciclo é o ácido cítrico (6 carbonos na molécula), formado a partir da união do ácido oxalacético (4 carbonos na molécula) com uma substância proveniente da descarboxilação do ácido pirúvico. Qual é ela? 15. b

a) 3-fosfato gliceraldeído (PGAL)
b) AcetilCoA
c) NADPH
d) NAD^+

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

16. A energia da passagem de íons H^+ através das sintetases leva à síntese de ATP. Esse é o ponto central da 16. d

a) hipótese autotrófica.
b) hipótese heterotrófica.
c) teoria celular.
d) teoria quimiosmótica.

Questão para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

17. Na década de 1940, alguns médicos prescreveram doses baixas da droga dinitrofenol (DNP) para ajudar pacientes a emagrecer, mas o tratamento foi abandonado após a morte de alguns deles. Hoje se sabe que o DNP torna a membrana interna da mitocôndria permeável à passagem de íons H^+. Com base no que aprendeu sobre a teoria quimiosmótica de produção de ATP em mitocôndrias e cloroplastos, explique as consequências metabólicas do DNP na respiração celular.

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

18. Atividade prática: Liberação de gás carbônico na fermentação

Apresentamos nesta atividade um experimento simples que permite testar diversas hipóteses sobre a fermentação, entre elas: 1. o processo depende de um substrato orgânico, como um açúcar; 2. o processo é influenciado pela temperatura; 3. o processo depende da presença de leveduras.

Material

- fermento biológico (30 g de fermento fresco ou 10 g de fermento seco);
- 6 garrafas plásticas vazias de água ou refrigerante (500 mL), com tampa;
- balões de borracha (bexigas);
- tubos plásticos (como os utilizados em bombas de aquário);
- açúcar;
- montagem para banho-maria;
- gelo.

Atenção: A manipulação do fogo ficará a cargo do professor.

Procedimento

1. Dissolva o fermento biológico em 200 mL de água. Numere as garrafas de 1 a 4 e distribua quantidades iguais da solução de fermento em cada uma delas. Nas garrafas 5 e 6, adicione apenas água.
2. Adicione uma colher de sopa de açúcar em cada uma das garrafas, exceto nas de números 1 e 6. Adapte uma bexiga à boca de cada uma das garrafas. Deixe as garrafas 1, 2, 5 e 6 à temperatura ambiente; coloque a garrafa de número 3 em um banho de gelo; o professor colocará a garrafa de número 4 em banho-maria de temperatura entre 35 °C e 40 °C. Observe e anote o que ocorre com as bexigas nas horas seguintes. Responda às questões a seguir.

a) Qual é o papel da garrafa de número 6?
b) Quais garrafas permitem testar a hipótese de que a presença das leveduras é necessária para a produção de gás carbônico? Justifique.
c) Quais garrafas permitem testar a hipótese de que a presença de açúcar é necessária para a produção de gás carbônico? Justifique.
d) Quais garrafas permitem testar a hipótese de que a produção de gás carbônico é afetada pela temperatura? Justifique.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (Ufac) A maioria dos seres vivos atuais obtém energia por meio da respiração celular, também chamada respiração aeróbia por utilizar o oxigênio atmosférico. Esse tipo de respiração compõe-se de três etapas: glicólise, ciclo de Krebs e cadeia respiratória. Indique corretamente em quais compartimentos da célula ocorrem as diferentes etapas da respiração. 1. a

a) Citosol, mitocôndria, mitocôndria.
b) Citosol, citosol, mitocôndria.
c) Mitocôndria, mitocôndria, citosol.
d) Mitocôndria, citosol, mitocôndria.
e) Citosol, mitocôndria, citosol.

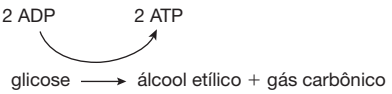
2. (UFRGS-RS) As células animais para a produção de energia necessitam de oxigênio, enzimas e substrato. Em relação ao processo de produção de energia, considere as afirmações abaixo.

I. A fosforilação oxidativa ocorre nas mitocôndrias.
II. Na fase aeróbia, ocorre alta produção de ATP.
III. A glicólise possui uma fase aeróbia e outra anaeróbia.

Quais estão corretas? 2. c

a) Apenas I.
b) Apenas II.
c) Apenas I e II.
d) Apenas II e III.
e) I, II e III.

3. (Unifor-CE) A reação química a seguir esquematiza o processo da fermentação alcoólica.



A indústria utiliza esse processo na fabricação de 3. a

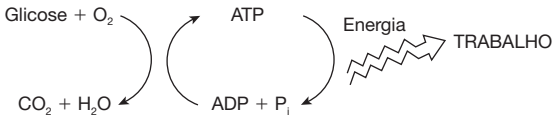
a) vinho.
b) iogurte.
c) coalhada.
d) vinagre.
e) picles.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

4. (UFPI) A atmosfera terrestre contém uma grande quantidade de oxigênio e, na presença do oxigênio, a forma de carbono mais estável energeticamente é o CO_2; o mesmo ocorre com o hidrogênio e com a água. Assim, a célula é capaz de obter energia de açúcares e de outras moléculas orgânicas pela combinação dos átomos de carbono e de hidrogênio com oxigênio, para produzir CO_2 e H_2O, respectivamente, em um processo chamado de 4. c

a) fotossíntese.
b) fotofosforilação.
c) respiração.
d) catálise.
e) fixação de carbono.

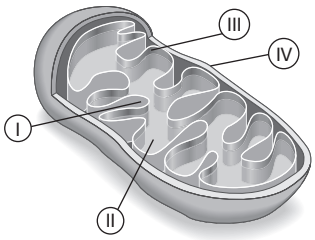
5. (Unifor-CE) O esquema seguinte mostra de modo simplificado um tipo de reação celular metabólica.



O processo representado é 5. b

a) respiração anaeróbia.
b) respiração aeróbia.
c) quimiossíntese.
d) fotossíntese.
e) glicólise.

6. (UPF-RS) As mitocôndrias são estruturas citoplasmáticas responsáveis pela respiração celular. Analise a figura a seguir, que representa uma mitocôndria, considerando que I = crista mitocondrial, II = matriz mitocondrial, III = membrana interna e IV = membrana externa.



(Esquema simplificado.)

ADILSON SECCO

Nas estruturas indicadas pelos números I e II, ocorrem, respectivamente, 6. d

a) o ciclo de Krebs e a cadeia transportadora de elétrons.
b) a glicólise e o ciclo de Krebs.
c) a cadeia transportadora de elétrons e a glicólise.
d) a cadeia transportadora de elétrons e o ciclo de Krebs.
e) a glicólise e a cadeia transportadora de elétrons.

7. (Uece) Todos os seres vivos necessitam de energia para viver e para isso realizam processos metabólicos variados. Enquanto organismos mais complexos realizam respiração aeróbica para obter energia, alguns microrganismos, como bactérias e fungos, utilizam a fermentação. Com relação aos processos existentes no mundo vivo para a obtenção de energia, analise as afirmativas a seguir.

I. A glicose é o combustível inicial tanto da respiração quanto da fermentação.
II. Os vegetais fazem fotossíntese durante o dia e respiram apenas à noite.
III. As leveduras fermentam açúcares para produzir ácido lático.
IV. Como os microrganismos precisam se multiplicar com rapidez, realizam fermentação, processo mais eficiente com relação ao balanço energético do que a respiração aeróbia, pois é mais rápido.

É correto o que se afirma em 7. b

a) I, II e IV.
b) I, apenas.
c) I, II e III.
d) III, apenas.

Questões discursivas

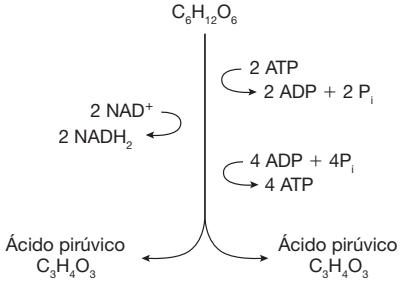
8. (Fuvest-SP) No processo de fabricação do pão, um ingrediente indispensável é o fermento, constituído por organismos anaeróbios facultativos.

a) Qual a diferença entre o metabolismo energético das células que ficam na superfície da massa e o metabolismo energético das células que ficam no seu interior?
b) Por que o fermento faz o pão crescer?

9. (Unicamp-SP) O processo de fermentação foi inicialmente observado no fungo *Saccharomyces*. Posteriormente, verificou-se que os mamíferos também podem fazer fermentação.

a) Em que circunstância esse processo ocorre nos mamíferos?
b) Dê dois exemplos da importância do processo de fermentação para a obtenção de alimentos.

10. (UFMA) O esquema abaixo representa a primeira etapa da respiração aeróbia (glicólise). Após analisá-lo, responda:



a) Em que local da célula ela ocorre?
b) Qual é o gasto energético dessa fase e qual é o saldo em ATP?

11. (Fuvest-SP) Há um século, Louis Pasteur, investigando o metabolismo do levedo, um organismo anaeróbio facultativo, observou que, em solução de água e açúcar, esse microrganismo se multiplicava. Observou também que a multiplicação era maior quando a solução era aerada.

a) Explique a importância do açúcar para o levedo.
b) Justifique a diferença do crescimento nas condições aeróbia e anaeróbia.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

MÓDULO 4

Reprodução e desenvolvimento

Conheça os capítulos deste módulo

A "invenção" do sexo pelos seres vivos possibilitou combinar características de dois indivíduos no descendente, com chances de as novas combinações serem bem-sucedidas na luta pela vida. Tudo começa pelo encontro de um par de gametas. Confira, nos capítulos deste módulo, como começa uma nova vida nas espécies animais e os tipos de tecidos que constituem o corpo de uma pessoa.

Capítulo 9

O zigoto, a célula formada pela união dos gametas, tem dois conjuntos de cromossomos, um materno e outro paterno. Uma vez que são originadas por mitoses do zigoto, todas as células de nosso corpo também terão dois conjuntos de cromossomos no núcleo. Na maturidade, uma linhagem celular especial torna-se capaz de realizar meiose e formar gametas, células portadoras de apenas um conjunto de cromossomos. Conhecer o processo de meiose é essencial para compreender a reprodução sexuada, como veremos mais adiante neste livro.

Capítulo 10

O desenvolvimento de um embrião animal é um fantástico empreendimento celular. Trata-se da construção de um organismo altamente complexo a partir de uma única célula, o zigoto. Um empreendimento como esse requer um elevado grau de organização e planos genéticos precisos, com uma rigorosa sucessão de etapas no espaço corporal e no tempo. Como isso ocorre? Embora já se conheça o passo a passo desse processo celular, seus mecanismos de controle até hoje desafiam a compreensão dos cientistas.

Capítulo 11

Abordamos aqui aspectos básicos da reprodução em nossa espécie. O conhecimento científico sobre o tema e sua recente popularização têm levado cada vez mais pessoas a compreender os fundamentos da reprodução humana. Trata-se de um exercício de cidadania não apenas por favorecer a liberdade de escolha de cada um, mas também por possibilitar reflexões mais aprofundadas sobre o crescimento populacional humano em um mundo já tão intensamente povoado.

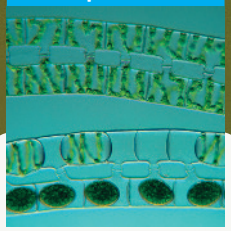
Capítulo 12

Animais e plantas são formados por diversos tecidos, que são conjuntos de células especializados em executar funções definidas. No corpo humano há, segundo alguns especialistas, 216 tipos de tecidos, incluindo os que formam a placenta e os anexos embrionários. O conhecimento detalhado da estrutura e do funcionamento dos organismos, desde as moléculas até os tecidos, tem possibilitado um futuro otimista para a humanidade, principalmente no tratamento e na cura de inúmeras doenças. Neste capítulo estudaremos os principais tecidos do corpo humano.

MARJA VAN DER LAAN/MINDEN PICTURES/FOTOARENA

Casal de libélulas da espécie *Enallagma cyathigerum* em cópula. O macho apresenta coloração azulada, enquanto a fêmea tem cor marrom-clara. Esses insetos têm aproximadamente 3 cm de comprimento.

Capítulo 9



WIM VAN EGMOND/GETTY IMAGES

Tipos de reprodução, meiose e fecundação

Itens principais:

- Tipos de reprodução
- Meiose e reprodução
- Gametas e fecundação nos animais
- Meiose e ciclos de vida

Capítulo 10

DR. YORGOS NIKAS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Desenvolvimento embrionário animal

Itens principais:

- Segmentação e formação da blástula
- Gastrulação
- Organogênese
- Anexos embrionários

Capítulo 11

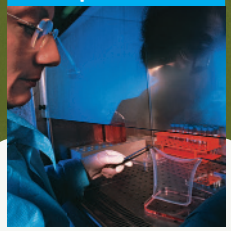
ISM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Reprodução humana

Itens principais:

- Sistema genital feminino
- Sistema genital masculino
- Hormônios relacionados à reprodução
- Gravidez e parto

Capítulo 12



MAURO FERMARIELLO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

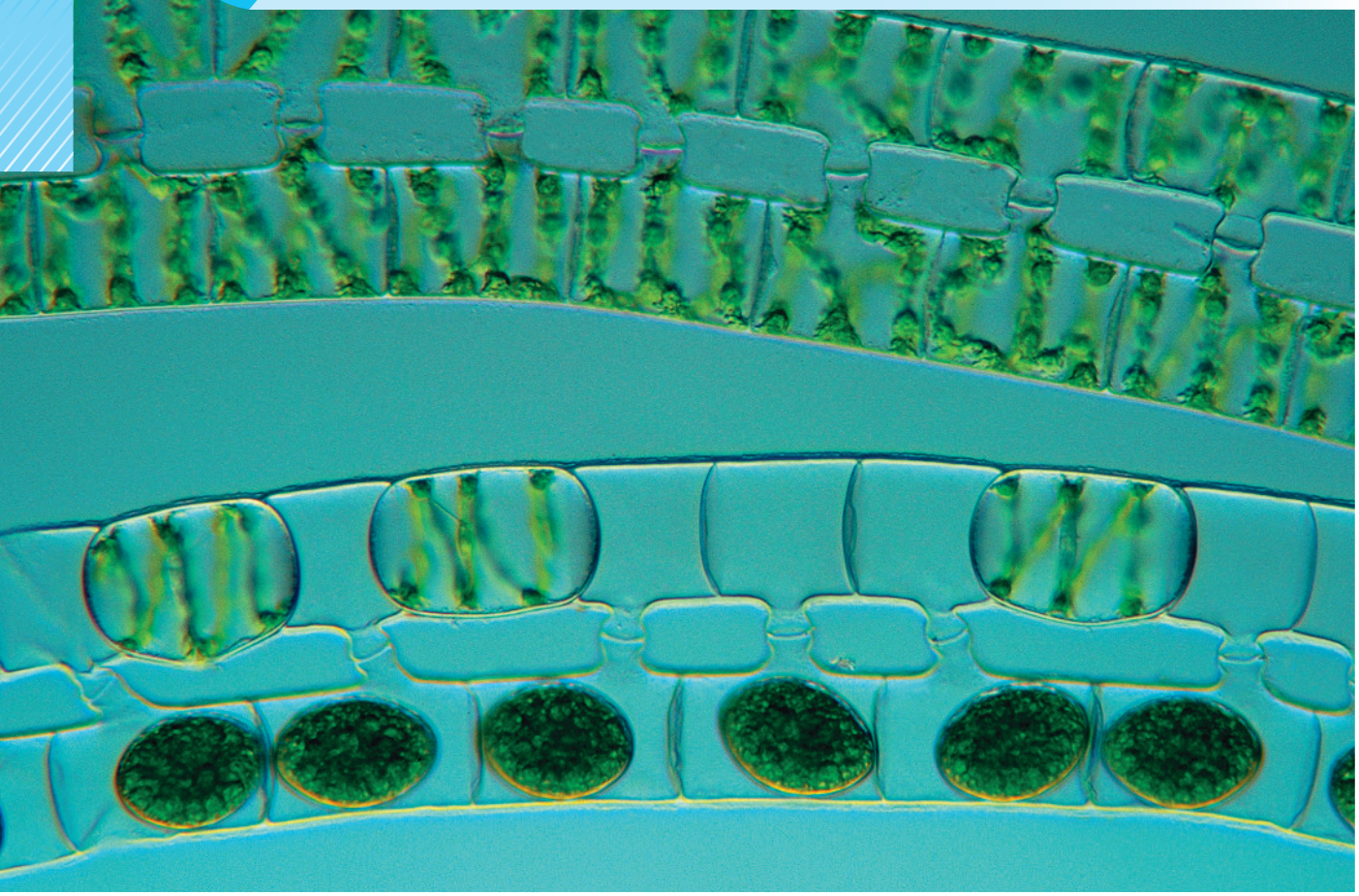
A diversidade celular dos vertebrados

Itens principais:

- A diversidade de tecidos vivos
- Tecido epitelial
- Tecido conjuntivo
- Tecido muscular
- Tecido nervoso

Capítulo 9

Tipos de reprodução, meiose e fecundação



WIM VAN EGMOND/GETTY IMAGES

Fotomicrografia de pares de filamentos de alga do gênero *Spirogyra* em processo de conjugação. Note células já vazias no par de filamentos inferior e a presença de inúmeros canais de conjugação para a transferência do conteúdo de uma célula para outra. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 175×.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sexo e reprodução

Por que a sexualidade ocupa espaço tão expressivo em todas as sociedades? Em alguns países, sexo faz parte dos negócios, do *show business*. Em outros, é tratado como assunto proibido, envolto em tabus e preconceitos. Ambas as visões revelam a mesma coisa, que percebemos desde a infância: sexo é *realmente* importante!

É natural que você esteja pensando agora na importância do sexo em sua vida: prazer, emoções, amor, talvez filhos. Entretanto, neste capítulo trataremos o assunto de um ponto de vista mais abrangente: por que a reprodução por meio do sexo é tão disseminada no mundo vivo?

Com exceção dos seres procarióticos (bactérias e arqueas), que não têm reprodução sexuada propriamente dita, há pouquíssimos organismos eucarióticos em que o sexo não está presente; algumas espécies de plantas cultivadas, como a banana, perderam os processos sexuais e passaram a se reproduzir exclusivamente por brotamento. Em certas espécies de animais, como alguns lagartos, os machos foram eliminados: os óvulos das fêmeas desenvolvem-se sem necessidade de fecundação por um processo denominado partenogênese.

A universalidade do sexo sugere que ele surgiu há muito tempo na história evolutiva da vida, possivelmente em antigos organismos unicelulares dos quais descendemos nós e todos os seres eucarióticos atuais. Quais seriam as vantagens da reprodução sexuada se há organismos como as bactérias, que se reproduzem assexuadamente com grande sucesso há mais de 3 bilhões de anos? Acompanhe essa questão em seus aspectos moleculares e cromossômicos e descubra por que o sexo, como forma de reprodução, faz tanto sucesso.

A importância do assunto

Os assuntos tratados neste capítulo são de grande importância tanto para a Biologia como para a compreensão de nossa vida. Temas como a sexualidade, com suas implicações comportamentais e morais, adquirem maior consistência se também forem considerados os seus aspectos biológicos. A sexualidade é importante em nosso cotidiano por estar diretamente relacionada à nossa sobrevivência na Terra.

O ponto central do capítulo é a meiose, processo pelo qual os animais formam gametas e as plantas formam esporos. O assunto é relativamente complexo, mas está longe de ser difícil ou mera "decoreba". Tendo em vista o papel da meiose para a continuidade da vida, devem-se valorizar seus aspectos fundamentais e sua importância na reprodução; nesse contexto, os detalhes passam a ter função mais ilustrativa, exemplificando a nomenclatura utilizada pelos cientistas.

9.1 Tipos de reprodução

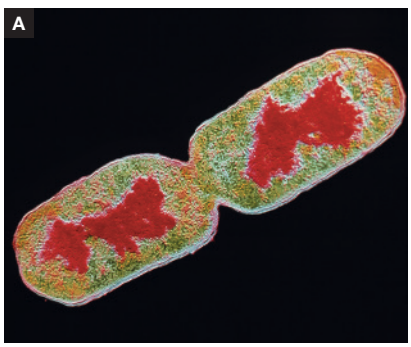
A **reprodução** – processo pelo qual os seres vivos originam descendentes – é a maneira pela qual a vida tem se perpetuado em nosso planeta desde sua origem. Se retrocedêssemos ao tempo de nossos ancestrais unicelulares mais antigos, chegaríamos ao momento em que surgiu a primeira forma de reprodução: a capacidade de se dividir em dois, de crescer e novamente se dividir, perpetuando nos descendentes os processos vitais.

Processos assexuados de reprodução

Quando um único genitor dá origem a descendentes geneticamente idênticos a si, fala-se em **reprodução assexuada**. Como veremos a seguir, esse tipo de reprodução pode ocorrer de diversas maneiras.

A maioria dos organismos unicelulares – bactérias, protozoários e algas unicelulares – reproduz-se por **divisão binária**, também conhecida como **cissiparidade**, processo assexuado que consiste na divisão do indivíduo genitor em dois novos indivíduos.

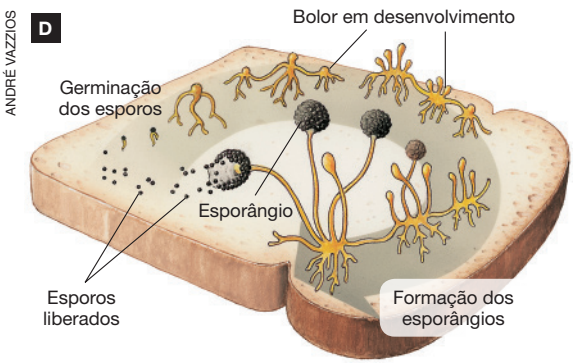
Certas algas e fungos multicelulares formam células reprodutivas especiais denominadas **esporos**; estes são liberados no ambiente e, se as condições forem favoráveis, desenvolvem-se em novos indivíduos. A reprodução por esporos é denominada **esporulação**. (Fig. 9.1)



CNRI/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

ED RESCHIKE/GETTY IMAGES

ANTONSOV85/SHUTTERSTOCK



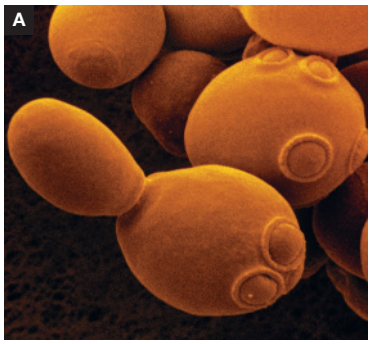
ANDRÉ VAZZIOS

Figura 9.1 A. Fotomicrografia da bactéria *Escherichia coli* em divisão binária. (Microscópio eletrônico de transmissão; aumento ≈ 30.000×; cores artificiais.) **B.** Fotomicrografia do protozoário paramécio (*Paramecium* sp.) em divisão binária. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 180×; cores artificiais.) **C.** Os diferentes tipos de bolor que surgem no pão provêm, na maioria das vezes, de esporos assexuais presentes no ar. **D.** Representação esquemática da esporulação do bolor negro do pão, o fungo *Rhizopus* sp. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Certas algas, plantas, fungos e alguns animais invertebrados reproduzem-se assexuadamente por **brotamento**. Nesse processo, um indivíduo forma expansões corporais, os brotos, que depois se separam do genitor e passam a ter vida independente.

Algumas algas, plantas e animais invertebrados reproduzem-se assexuadamente por **fragmentação**: partes que se destacam do corpo do genitor regeneram-se e originam novos indivíduos. (Fig. 9.2)



DAVID SCHARF/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

VAVITI/STOCKPHOTO/GETTY IMAGES

ERIC GRAVE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 9.2 A. Fotomicrografia de levedura da espécie *Saccharomyces cerevisiae* (fermento biológico); note um broto em formação. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 2.630×; cores artificiais.) **B.** No morangueiro (gênero *Fragaria*), o estolão (um tipo de caule) origina assexuadamente novos indivíduos. As folhas têm aproximadamente 4 cm de largura. **C.** Fotomicrografia de uma hidra (*Hydra* sp.) com broto, pequeno animal que vive em lagos e rios e pode se reproduzir por brotamento. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 40×.)

Certas plantas, certos animais invertebrados e algumas espécies de vertebrados reproduzem-se por **partenogênese**, processo em que o gameta feminino desenvolve-se sem que tenha ocorrido fecundação. Em abelhas, por exemplo, ocorre partenogênese: machos originam-se pelo desenvolvimento de óvulos não fecundados. A rainha, única fêmea fértil da colmeia, é capaz de controlar a fecundação: depois de copular com diversos zangões e armazenar o sêmen deles, ela pode pôr ovos (fecundados) e óvulos (não fecundados). Os ovos, diploides, originam fêmeas, que poderão ser rainhas ou operárias, dependendo da alimentação. Os óvulos, haploides, desenvolvem-se por partenogênese, originando apenas machos, os zangões. (Fig. 9.3)

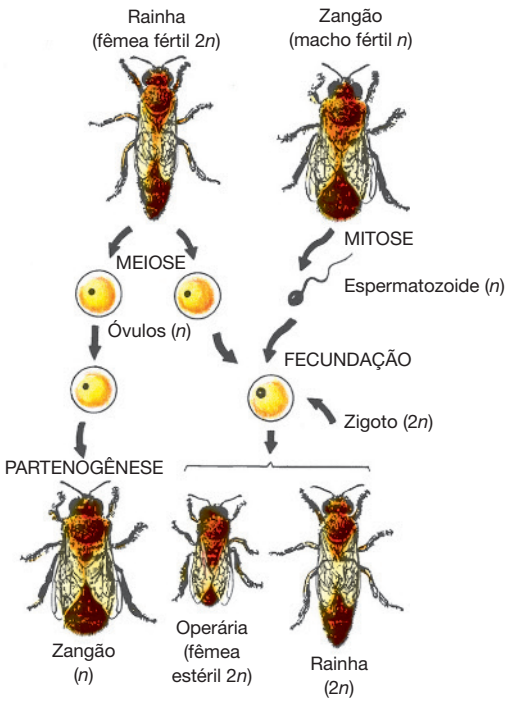


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

Figura 9.3 Partenogênese em abelhas do gênero *Apis*. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

A importância da reprodução sexuada

Um passo importante na história da vida em nosso planeta foi o aparecimento da **reprodução sexuada**, em que duas células especializadas – os **gametas** – se fundem e originam uma célula única, o **zigoto**, que reúne material genético dos dois gametas.

Os gametas que se unem pela fecundação são, na maioria dos casos, bem diferentes um do outro, morfológica e funcionalmente. Em geral, um deles é relativamente muito grande e não tem mobilidade própria, enquanto o outro é pequeno e se move ativamente. Por convenção, o gameta imóvel é denominado **feminino**, e o gameta móvel, **masculino**.

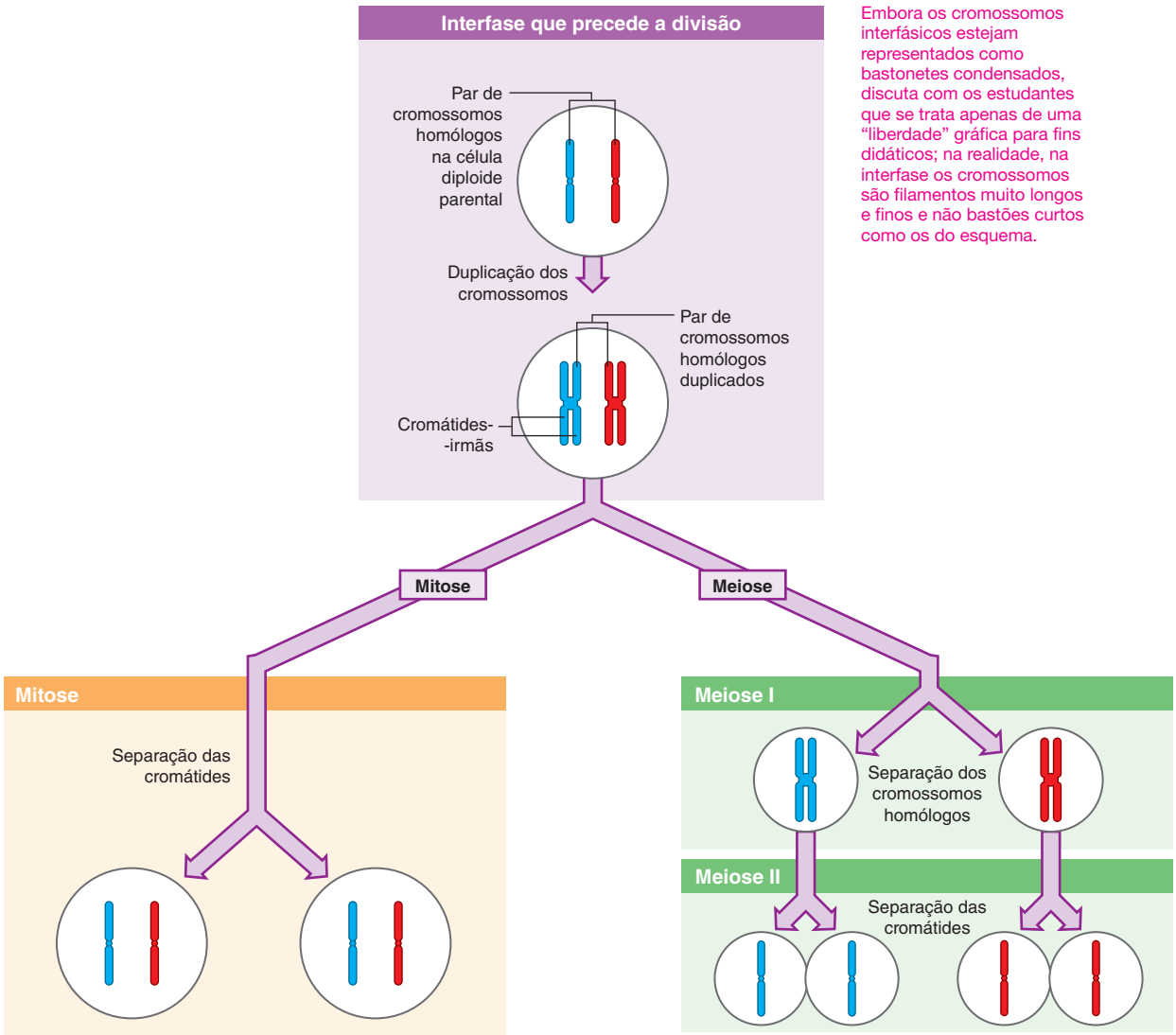
Qual seria a vantagem de indivíduos diferentes misturarem, em uma única célula, suas informações hereditárias? De acordo com o evolucionismo, a reprodução sexuada é importante porque leva à formação de descendentes de vários tipos, em contraste com a reprodução assexuada, em que toda a descendência é geneticamente idêntica. Apresentar descendência variável, fenômeno que os cientistas denominam **variabilidade genética**, constitui uma vantagem evolutiva porque aumenta a chance de surgirem indivíduos capazes de sobreviver e de se adaptar a diferentes condições ambientais.

9.2 Meiose e reprodução

Seres humanos têm 46 cromossomos nas células corporais e apenas 23 cromossomos nos gametas. Pela fecundação, um par de gametas se une e forma o zigoto, com 46 cromossomos. O zigoto se multiplica por mitose, processo que conserva o número de cromossomos nas células-filhas, originando um ser humano com células cromossomicamente idênticas, isto é, com 46 cromossomos. Mas como se formam, então, as células com 23 cromossomos que originam os gametas?

No ciclo de vida de espécies como a nossa, cujas células corporais são diploides, as células haploides se formam por um processo especial de divisão celular, a meiose, em que o número de cromossomos das células-filhas é reduzido à metade. A redução do número de cromossomos na meiose contrabalança a soma dos cromossomos maternos e paternos que ocorre na fecundação.

O termo **meiose** deriva da palavra grega *meiosis*, que significa diminuição, referindo-se ao fato de o número de cromossomos ser reduzido à metade nas células-filhas em relação à célula-mãe. A redução ocorre porque há apenas uma duplicação cromossômica seguida de duas divisões celulares consecutivas, a **meiose I** e a **meiose II**. Formam-se, assim, quatro células-filhas, cada uma com metade do número de cromossomos originalmente presente na célula-mãe. (Fig. 9.4)



Embora os cromossomos interfásicos estejam representados como bastonetes condensados, discuta com os estudantes que se trata apenas de uma "liberdade" gráfica para fins didáticos; na realidade, na interfase os cromossomos são filamentos muito longos e finos e não bastões curtos como os do esquema.

Figura 9.4 Representação esquemática da distribuição de um par de cromossomos homólogos às células-filhas na mitose e na meiose. A mitose é um processo equacional de divisão celular, pois o número de cromossomos conserva-se igual nas células-filhas. A meiose é um processo reducional de divisão: após duas divisões sucessivas, a meiose I e a meiose II, formam-se quatro células-filhas, cada uma com metade do número de cromossomos originalmente presente na célula-mãe. Embora representados como bastonetes curtos por conveniência didática, devemos lembrar que, na interface, os cromossomos são filamentos longos e finos. (Cores-fantasia.)

ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Etapas da meiose

Na interfase que antecede a meiose, como também ocorre na interfase que antecede a mitose, há a **duplicação dos cromossomos**, que passam a ser constituídos por duas cromátides. A célula passa, então, pela primeira divisão meiótica (meiose I), originando duas células-filhas que iniciam rapidamente a segunda divisão (meiose II), sem que haja nova duplicação cromossômica. A "mecânica" básica das duas divisões é semelhante à da mitose. Esse é um dos argumentos para a hipótese de que a meiose surgiu, evolutivamente, a partir da mitose.

As divisões I e II da meiose compreendem quatro fases cada uma, com os mesmos nomes das fases da mitose:

- meiose I: prófase I, metáfase I, anáfase I e telófase I;
- meiose II: prófase II, metáfase II, anáfase II e telófase II.

Entre as divisões I e II, pode haver um curto intervalo denominado intercinese.

Semelhanças e diferenças entre mitose e meiose

Torna-se mais fácil entender a meiose se nos prepararmos para o que vamos encontrar. Estudantes desavisados podem tropeçar na nomenclatura e perder de vista os aspectos essenciais do processo meiótico, que são fundamentais para compreender a Genética. Por isso, acompanhe o passo a passo da divisão celular.

Uma vez que os mecanismos básicos de divisão celular são similares na mitose e na meiose, basta dominar certas particularidades da mitose para compreender a meiose. Relembraremos, na sequência, os destaques de cada fase da mitose.

a) Interfase: embora não faça parte da mitose nem da meiose, ela é imprescindível para o processo de divisão celular, pois é nessa fase que acontece a duplicação dos cromossomos.

b) Prófase: na mitose, forma-se o fuso de microtúbulos e os cromossomos se condensam; o mesmo ocorre na meiose, porém com algumas diferenças. A mais marcante entre a prófase da mitose e a prófase I da meiose é que, nesta última, os cromossomos homólogos se aproximam e se emparelham intimamente, em geral trocando pedaços entre suas cromátides.

c) Metáfase: tanto na mitose quanto na meiose, a carioteca desintegra-se e os microtúbulos do fuso ligam-se aos cromossomos. Aqui também há uma diferença marcante entre os dois processos: na metáfase I da meiose, cada cromossomo duplicado liga-se a microtúbulos de apenas um polo do fuso; na metáfase da mitose, cada cromossomo duplicado liga-se a fibras de polos celulares opostos.

d) Anáfase: o encurtamento dos microtúbulos do fuso ocorre de maneira similar na mitose e na meiose. A grande diferença, porém, decorrente do tipo de ligação ao fuso que ocorreu na metáfase, é que na mitose são separadas cromátides-irmãs de um cromossomo duplicado, pelo fato de o cromossomo estar ligado às fibras dos dois polos celulares, enquanto na anáfase I da meiose se separam cromossomos homólogos duplicados, pois o cromossomo está ligado às fibras de um único polo celular, embora alguns deles possam ter trocado pedaços de cromátides.

e) Telófase: na mitose e na meiose, as cariotecas se organizam em torno dos conjuntos cromossômicos que chegaram aos polos e estão se descondensando, reconstituindo dois novos núcleos. Naqueles formados na telófase I, já ocorreu a **redução cromossômica**. Embora cada cromossomo esteja duplicado, não há pares de homólogos no mesmo núcleo, pois eles se separaram na anáfase I. Ou seja, cada célula formada na telófase I tem apenas um representante de cada tipo cromossômico, embora duplicado.

Prepare-se agora para um estudo mais detalhado de cada fase da meiose. Retorne ao texto acima quantas vezes forem necessárias para compreender plenamente o fenômeno meiótico.

Meiose I

A meiose tem início com a **prófase I**, uma fase mais longa e com muitos eventos importantes, tendo sido, por isso, dividida em cinco subfases: leptóteno, zigóteno, paquíteno, diplóteno e diacinese.

O **leptóteno** caracteriza-se pela condensação de certos pontos ao longo dos cromossomos, formando os cromômeros (regiões mais condensadas e que se coram mais intensamente). Nessa fase, os cromossomos tornam-se visíveis ao microscópio fotônico como fios longos e finos, pontilhados de cromômeros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

À medida que se condensam, os cromossomos homólogos duplicados dispõem-se lado a lado, emparelhando-se perfeitamente ao longo de todo o seu comprimento, como se fossem as duas partes de um zíper sendo fechado. O emparelhamento ocorre pela formação de uma estrutura proteica entre os cromossomos homólogos, denominada complexo sinaptonêmico. Essa etapa da prófase I é denominada **zigóteno**.

A etapa seguinte é o **paquíteno**. Cada cromossomo do par de homólogo, agora com suas cromátides já bem condensadas, está perfeitamente emparelhado ao seu parceiro aparecendo ao microscópio como uma entidade única, denominada **bivalente** ou **tétrade**.

No **diplóteno**, os cromossomos homólogos que estavam muito bem emparelhados no paquíteno começam a se separar. A separação evidencia, em certos casos, as cromátides de cromossomos homólogos cruzadas em determinados pontos, formando figuras na forma da letra X, denominadas **quiasmas** (do grego *chiasma*, cruzado, em forma de X).

Os quiasmas surgem nos locais em que as cromátides de cromossomos homólogos se romperam e se soldaram de maneira trocada durante o emparelhamento, fenômeno denominado **permutação** ou *crossing-over*. A permutação cromossômica leva à reunião, em um mesmo cromossomo, de genes provenientes da mãe, presentes em um dos homólogos, e genes provenientes do pai, presentes no outro homólogo. (Fig. 9.5)

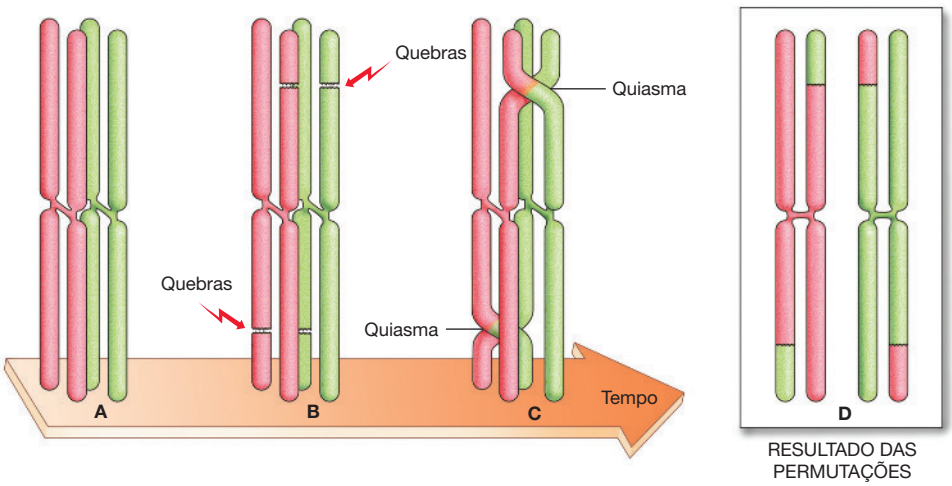
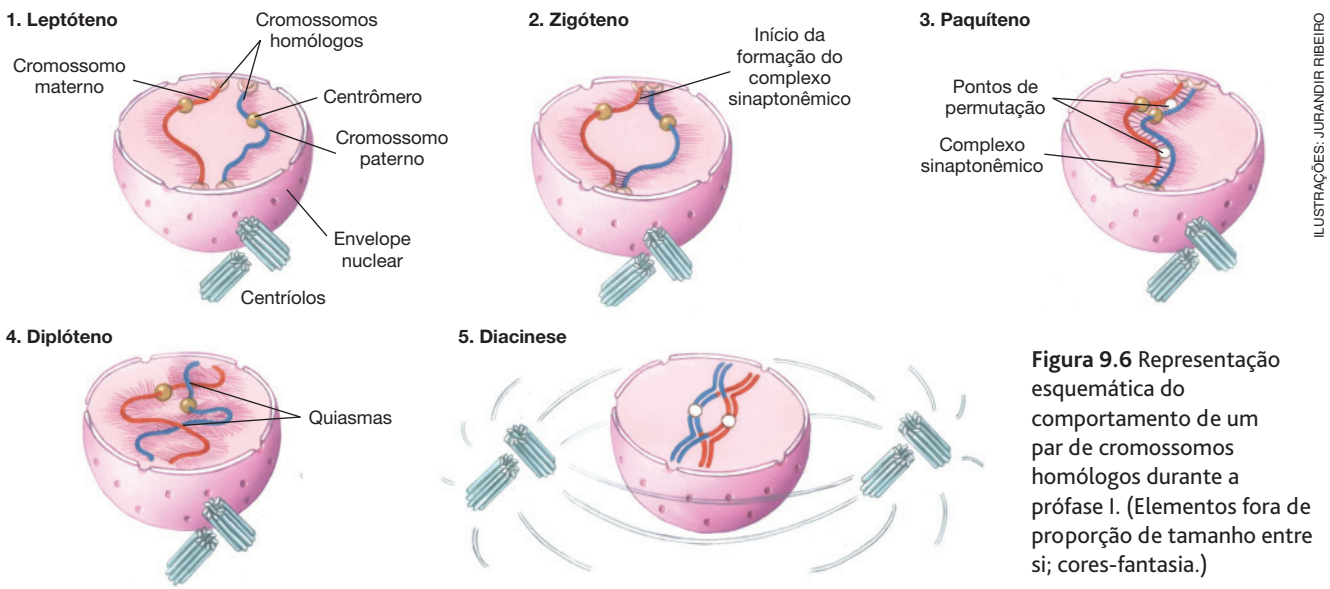


Figura 9.5 Representação esquemática da permutação entre cromossomos homólogos. Dois homólogos emparelhados (**A**) sofrem quebras em suas cromátides (**B**). Em seguida, as quebras são reparadas, mas o fragmento da cromátide de um cromossomo pode soldar-se à cromátide de seu homólogo e vice-versa, originando quiasmas (**C**). Em **D**, os cromossomos estão representados lado a lado para mostrar o resultado das permutações. (Cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÃO: OSVALDO SEQUETIN

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Na **diacinese**, a última etapa da prófase I, as forças que levavam ao emparelhamento cromossômico diminuem ainda mais e os cromossomos homólogos permanecem unidos apenas pelos quiasmas, que deslizam progressivamente para as extremidades cromossômicas, fenômeno conhecido como **terminalização dos quiasmas**. Nessa fase, que marca o final da prófase I, a carioteca se desintegra e os pares de cromossomos homólogos espalham-se pelo citoplasma. (Fig. 9.6)



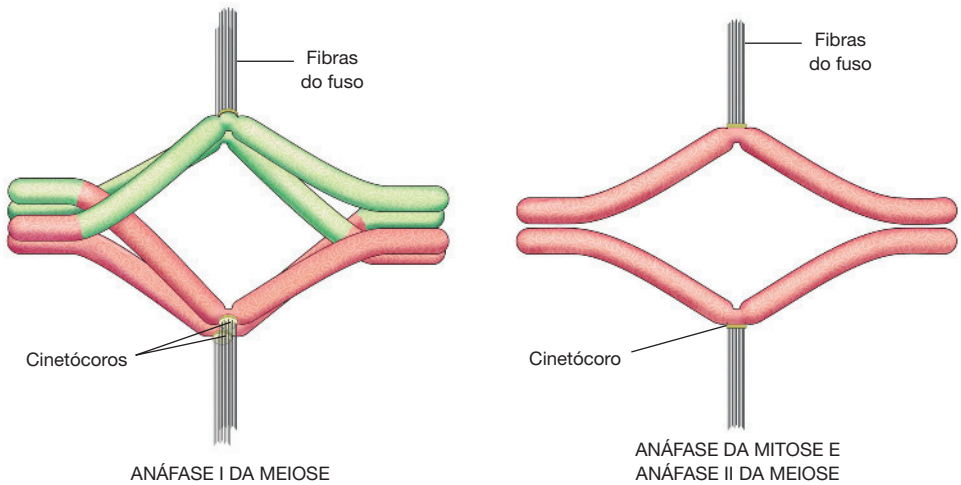
ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 9.6 Representação esquemática do comportamento de um par de cromossomos homólogos durante a prófase I. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Observações experimentais mostram que, se não ocorre ao menos uma permutação entre os cromossomos emparelhados, a meiose não prossegue, e a célula morre. Acredita-se que a permutação como forma de promover a recombinação genética deve ter adquirido importância posteriormente, no decorrer da evolução. Em nossa opinião, não há necessidade de discutir, neste momento, a recombinação dos genes, embora isso possa ser comentado, principalmente se o interesse partir dos estudantes. A importância genética da permutação é tratada posteriormente nesta coleção.

Tem início, então, a **metáfase I**. Nessa fase, os cromossomos já completamente condensados ligam-se aos microtúbulos do fuso pela região dos centrômeros. Aqui reside um ponto-chave do processo meiótico. Enquanto na meiose um homólogo duplicado prende-se a microtúbulos de um dos polos, seu parceiro, também duplicado, prende-se a microtúbulos do polo oposto. Na metáfase da mitose, como vimos, cada cromossomo prende-se a microtúbulos de ambos os polos, de modo que as cromátides-irmãs ficam unidas a polos opostos.

Como consequência dessa ligação cromossômica peculiar que ocorre na metáfase I, cada cromossomo de um par de homólogos, constituído por duas cromátides unidas pelo centrômero, é puxado para um dos polos da célula. A separação dos cromossomos duplicados para polos opostos marca a **anáfase I**. (Fig. 9.7)



OSVALDO SEQUETIN

Figura 9.7 Representação esquemática da união dos microtúbulos do fuso aos cromossomos. Na anáfase I da meiose, há separação de cromossomos homólogos duplicados. Na anáfase II da meiose e na anáfase da mitose, ocorre separação de cromátides-irmãs. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Na **telófase I**, os lotes cromossômicos em migração chegam aos polos da célula. O fuso acromático se desfaz, os cromossomos se descondensam, as cariotecas se reorganizam e os nucléolos reaparecem. Surgem, assim, dois núcleos haploides, pois há apenas um representante de cada par de cromossomos homólogos em cada núcleo. No entanto, cada cromossomo ainda está constituído por duas cromátides unidas pelo centrômero.

Geralmente, logo após a primeira divisão meiótica, ocorre a **citocinese I**, que se caracteriza pela separação das duas células-filhas, que logo iniciam a meiose II.

Meiose II

As duas células resultantes da meiose I entram em meiose II, processo praticamente idêntico a uma mitose.

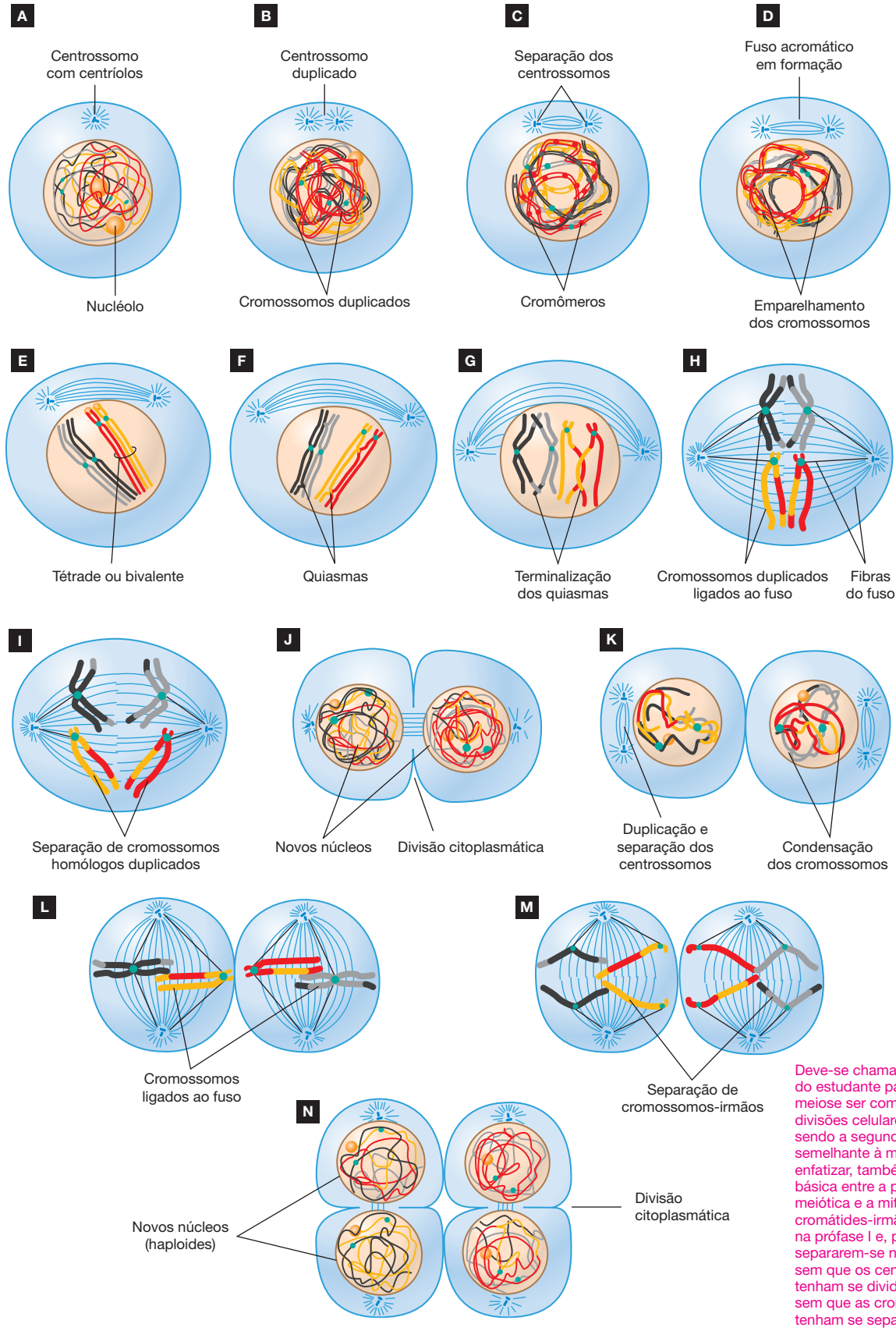
Na **prófase II**, forma-se o fuso de microtúbulos, os cromossomos se condensam, os nucléolos desaparecem e a carioteca se desintegra.

Na **metáfase II**, cada cromossomo, constituído por duas cromátides, associa-se a microtúbulos de polos opostos do fuso e alinha-se no plano equatorial da célula. Os centrômeros dividem-se e os microtúbulos começam a puxar as cromátides-irmãs para polos opostos, marcando o início da **anáfase II**.

Quando as cromátides-irmãs, agora chamadas de cromossomos-irmãos, chegam aos polos da célula, termina a anáfase e tem início a **telófase II**. Nessa fase, os cromossomos se descondensam, os nucléolos reaparecem e as cariotecas se reorganizam. Em seguida, o citoplasma se divide e são formadas duas células-filhas a partir de cada célula que iniciou a segunda divisão meiótica.

No final da meiose, para cada célula diploide que iniciou o processo, formam-se quatro células haploides. Acompanhe, no esquema a seguir, o processo completo da meiose. As letras de A a N correspondem às diferentes fases do processo; tente identificar cada uma e confira com a legenda do esquema. (Fig. 9.8)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Figura 9.8 Representação esquemática das fases da meiose. **A.** interfase (G1). **B.** interfase (G2). **C.** prófase I (leptóteno). **D.** prófase I (zigóteno). **E.** prófase I (paquíteno). **F.** prófase I (diplóteno). **G.** prófase I (diacinese). **H.** metáfase I. **I.** anáfase I. **J.** telófase I. **K.** prófase II. **L.** metáfase II. **M.** anáfase II. **N.** telófase II. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Deve-se chamar a atenção do estudante para o fato de a meiose ser composta de duas divisões celulares consecutivas, sendo a segunda rigorosamente semelhante à mitose. É importante enfatizar, também, que a diferença básica entre a primeira divisão meiótica e a mitose é o fato de as cromátides-irmãs se emparelharem na prófase I e, posteriormente, separarem-se nas células-filhas sem que os centrômeros tenham se dividido e, portanto, sem que as cromátides-irmãs tenham se separado.

Ciência e cidadania

Falhas na meiose e alterações cromossômicas

1 Na meiose, assim como na mitose, também pode ocorrer não disjunção cromossômica, isto é, cromossomos que deveriam separar-se migram juntos para o mesmo polo celular. Se a não disjunção ocorrer na meiose I, uma das células receberá os dois cromossomos homólogos que não se separaram. Se a não disjunção ocorrer na meiose II, uma das células receberá dois cromossomos-irmãos que não se separaram.

2 O resultado de não disjunções na meiose é a produção de gametas com falta ou excesso de cromossomos. Quando um gameta com um cromossomo a mais ou a menos se une por fecundação a um gameta normal, o zigoto formado é portador de uma alteração no número de cromossomos. Na espécie humana, a maior parte das alterações numéricas causa a morte ainda na fase embrionária, mas, dependendo dos cromossomos afetados, algumas alterações cromossômicas são compatíveis com a vida. Exemplos disso são as síndromes de Down, de Turner e de Klinefelter.

3 Um aspecto importante a ser considerado é que a frequência de não disjunções cromossômicas durante a meiose aumenta drasticamente em mulheres com mais de 35 anos de idade. Isso eleva o risco de serem geradas crianças portadoras de alterações cromossômicas. Mulheres com idade superior a 40 anos e que queiram engravidar devem procurar aconselhamento genético para se inteirarem dos riscos de virem a ter crianças portadoras de síndromes decorrentes de não disjunções cromossômicas.

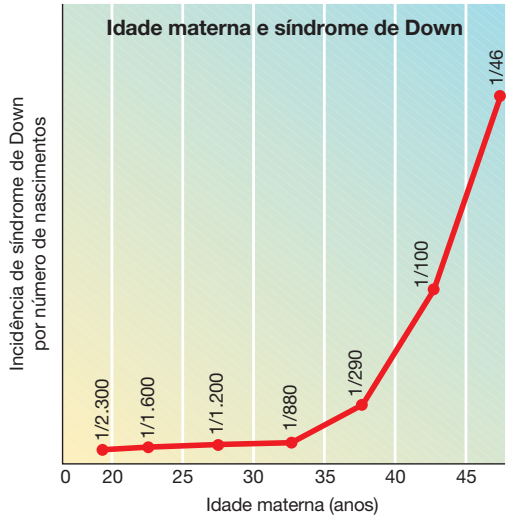


Gráfico que mostra a relação entre a idade materna e a geração de crianças com síndrome de Down. As frações em cada ponto do gráfico correspondem às frequências de nascimentos de portadores da síndrome. (Elaborado com base em Penrose, L. S. e Smith, G. F., 1966.)

ADILSON SECCO

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1 Leia o primeiro parágrafo. Certifique-se de ter compreendido o que é não disjunção cromossômica. Para operacionalizar esse conceito, represente esquematicamente a divisão meiótica de uma célula com $2n = 4$. Represente a célula na metáfase I com dois pares de cromossomos emparelhados. Escolha um deles e desenhe a fibra do fuso apenas de um dos polos; isso simulará a não disjunção de um par de homólogos. Continue a representar a meiose normalmente, o que resultará em quatro células haploides: duas delas desprovidas de um dos tipos cromossômicos e as outras duas com esse cromossomo em dose dupla. Desenhe, a seguir, a divisão meiótica com a não disjunção cromossômica ocorrendo na meiose II.

2 O segundo parágrafo comenta os resultados das não disjunções cromossômicas que ocorrem na meiose humana. Quais são eles?

3 Leia o terceiro e último parágrafo do quadro, que se refere ao aumento da frequência de não disjunções cromossômicas à medida que aumenta a idade da mulher. Uma das hipóteses para isso é que as células germinativas femininas iniciam simultaneamente a meiose na fase embrionária de vida da mulher e permanecem estacionadas em prófase I até serem ativadas pelos hormônios sexuais. A cada ciclo menstrual, uma das células germinativas é ativada de forma a dar prosseguimento à sua meiose. Em outras palavras, em uma gravidez tardia, a célula que originou o óvulo estava há muito tempo estacionada em prófase I da meiose, o que parece aumentar a probabilidade de ocorrência de não disjunções cromossômicas.

4 Analise o gráfico apresentado neste quadro. Inicialmente, note a curva vermelha que cresce acentuadamente. Confira o que indicam as ordenadas e as abscissas. Interrompa agora a análise do gráfico e leia a sua legenda. Retorne ao gráfico à medida que lê, complementando as informações. Calcule: quantas vezes o risco de uma mulher com mais de 45 anos de idade ter uma criança portadora de síndrome de Down é maior que o de uma mulher de 20 anos?

9.3 Gametas e fecundação nos animais

Agora que conhecemos o significado principal da meiose – reduzir o número de cromossomos e contrabalançar sua duplicação pela fecundação –, podemos entender melhor seu papel na formação dos gametas de animais, que estudaremos a seguir.

Nos animais, os gametas formam-se a partir de células especiais – as **células germinativas** –, destinadas a passar por meiose desde as fases iniciais do desenvolvimento embrionário. Nos machos, as células germinativas localizam-se nos testículos e são chamadas de **espermatogônias**. Nas fêmeas, elas se situam nos ovários e são denominadas **ovogônias**. Tanto as espermatogônias como as ovogônias são células diploides ($2n$) e multiplicam-se por mitose.

Nos machos de mamíferos, a multiplicação das espermatogônias tem início na vida embrionária e se intensifica após a maturidade sexual, continuando praticamente por toda a vida, com declínio acentuado na velhice. Nas fêmeas, o período de multiplicação das ovogônias geralmente se restringe à vida intrauterina, como ocorre na espécie humana.

A formação de gametas a partir das células germinativas primordiais é genericamente chamada de **gametogênese**. A formação de óvulos é a **ovulogênese**; e a formação de espermatozoides é a **espermatogênese**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Espermatogênese em mamíferos

Nos testículos dos machos de mamíferos, há sempre espermatogônias multiplicando-se por mitose, originando novas gerações de espermatogônias que também se dividem e assim sucessivamente. Enquanto a multiplicação ocorre, alguns grupos de espermatogônias crescem e diferenciam-se, passando a ser denominados **espermatócitos primários** (ou **espermatócitos I**). Esses espermatócitos duplicam os cromossomos no período S da interfase e iniciam a divisão meiótica.

Ao fim da meiose I, formam-se duas células-filhas de tamanhos equivalentes, denominadas **espermatócitos secundários** (ou **espermatócitos II**). Cada uma delas inicia a meiose II e origina duas células também de tamanhos equivalentes, denominadas **espermátides**. Assim, após as divisões I e II, cada espermatócito I, diploide, que inicia a meiose produz quatro espermátides haploides.

Cada espermátide passa, então, por um processo de especialização denominado espermiogênese, durante o qual se transforma em **espermatozoide**. Nesse processo, um centríolo transforma-se em um longo flagelo, a cauda do gameta masculino, e parte do citoplasma é eliminada, o que torna o gameta masculino mais leve e ágil. Forma-se também o acrossomo, bolsa que contém enzimas responsáveis pela digestão dos envoltórios ovulares durante a fecundação (reveja a fig. 5.13, no capítulo 5).

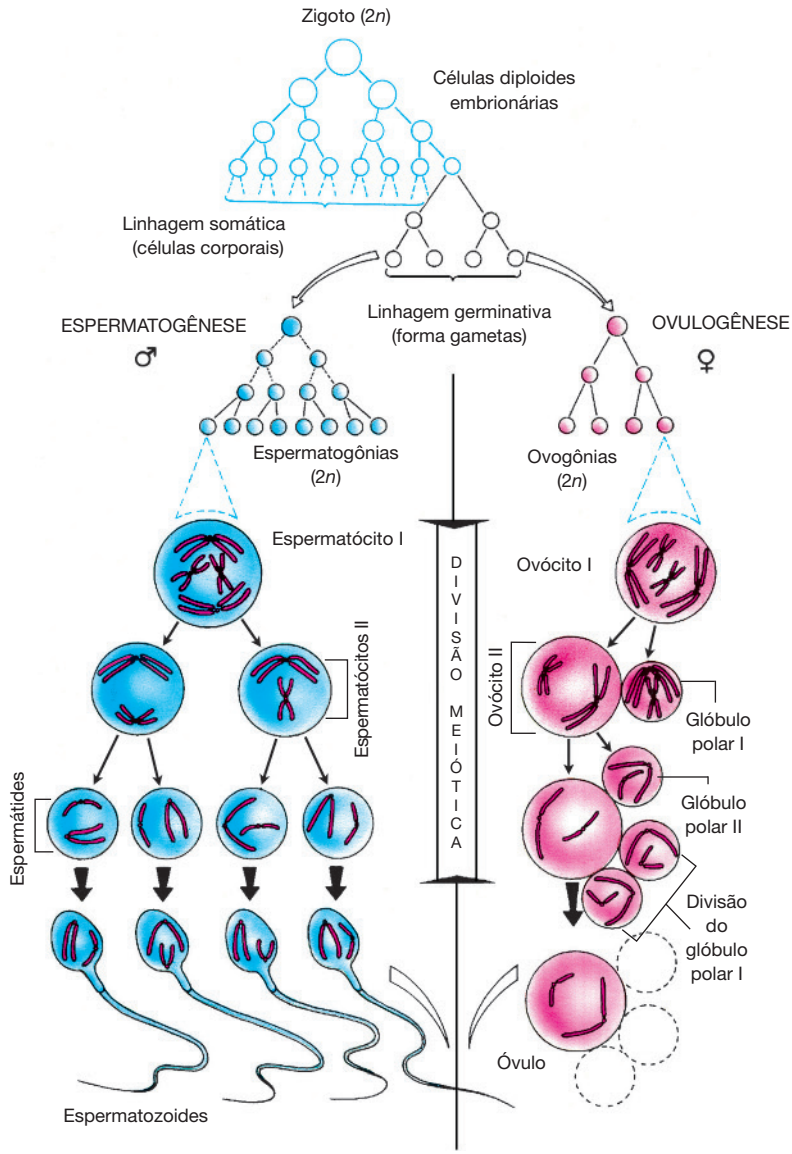
Ovulogênese em mamíferos

Nos ovários das fêmeas de mamíferos, ainda na vida intrauterina, tem início a formação dos gametas femininos, a ovulogênese (ou ovogênese ou, ainda, oogênese). As células germinativas femininas, as ovogônias, multiplicam-se rapidamente por mitose, atingem determinado número e as divisões cessam. Em virtude do grande acúmulo de substâncias nutritivas no citoplasma – o vitelo –, as ovogônias crescem e se transformam em **ovócitos primários** (ou **ovócitos I**), que iniciam a meiose, mas estacionam na fase de diplóteno da prófase I.

Na fase reprodutiva da fêmea, o ovócito I retoma a meiose I, originando duas células de tamanho bastante desigual: uma delas, o **ovócito secundário** (ou **ovócito II**), recebe quase todo o citoplasma e o vitelo, enquanto a outra célula fica com praticamente só o núcleo, constituindo um pequeno glóbulo aderido a um dos polos do ovócito II, daí sua denominação **glóbulo** (ou corpúsculo) **polar I**. Embora algumas vezes continue a meiose, o glóbulo polar não desempenha papel algum na reprodução e se degenera.

O ovócito II inicia, então, a meiose II, estacionando em metáfase II. A meiose só se completa se houver fecundação, o que resulta novamente em duas células-filhas de tamanho bastante desigual. A célula grande, que contém praticamente todo o citoplasma e vitelo, é o **óvulo**. A célula pequena e desprovida de citoplasma é o **glóbulo** (ou corpúsculo) **polar II**, que logo degenera.

A citocinese desigual na meiose das fêmeas, como vimos, possibilita que o vitelo, constituído por substâncias para nutrir o futuro embrião, se concentre em uma única célula. Assim, a partir de um ovócito I, diploide, que inicia a meiose forma-se apenas uma célula funcional haploide, o óvulo, que concentra todo o vitelo acumulado na ovogônia. (Fig. 9.9)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 9.9 Representação esquemática em que se comparam a espermatogênese (à esquerda) e a ovulogênese (à direita) nos animais vertebrados. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

A fecundação nos animais

O processo de fusão de dois gametas, com formação de um zigoto diploide, é denominado **fecundação** (ou **fertilização**). Quando os gametas que se unem provêm de dois indivíduos distintos, fala-se em **fecundação cruzada**. Quando os gametas que se unem foram produzidos pelo mesmo indivíduo, fala-se em **autofecundação**. Nos animais, o encontro dos gametas masculino e feminino pode ocorrer no ambiente externo ou dentro do corpo da fêmea. No primeiro caso, fala-se em **fecundação externa**; no segundo, em **fecundação interna**.

Experiências com diversos animais mostram que os gametas femininos liberam substâncias capazes de atrair os espermatozoides. Ao se aproximar do óvulo e tocar nele, os espermatozoides são imediatamente estimulados a liberar as enzimas contidas no acrossomo, que digerem os envoltórios ovulares e permitem a penetração de um deles no citoplasma ovular.

O primeiro espermatozoide a tocar a superfície exposta do óvulo, após a digestão dos envoltórios ovulares, provoca a formação de uma barreira físico-química em torno do citoplasma ovular, a chamada **membrana de fecundação**. Esta impede a penetração de outros espermatozoides e garante que a fecundação seja realizada pelo único gameta masculino pioneiro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A membrana plasmática do ovócito II funde-se, então, à membrana do espermatozoide, cujo núcleo é praticamente "sugado" para o gameta feminino. No citoplasma ovular, os corpos basais do flagelo do espermatozoide originam os centríolos, que orientam a formação do fuso de microtúbulos para a mitose do zigoto; restos da cauda e mitocôndrias masculinas degeneram.

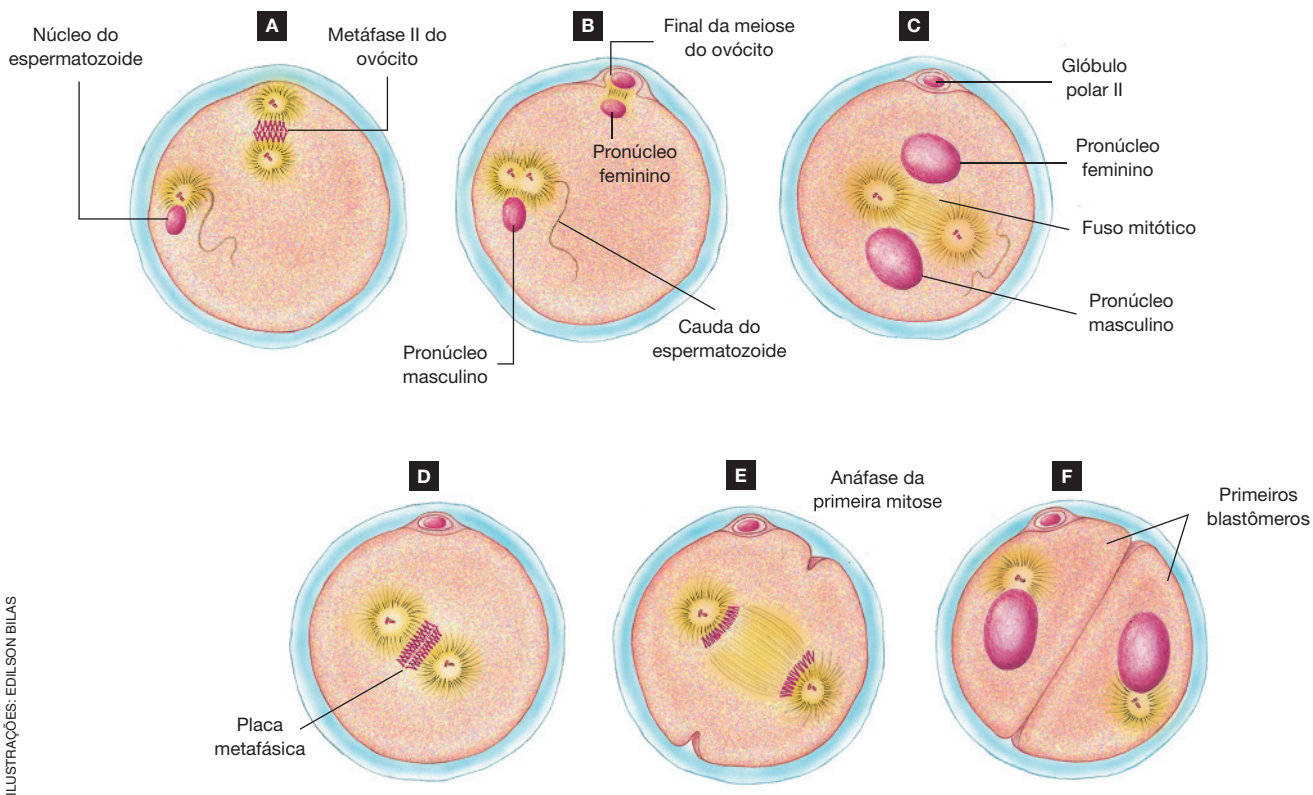
Nos mamíferos, a penetração do espermatozoide induz o gameta feminino, então estacionado em fase de ovócito II, a completar a segunda divisão meiótica, formando o segundo glóbulo polar e o óvulo propriamente dito. Com isso, o cenário intraovular está preparado para o ápice dos acontecimentos da fecundação: a cariogamia.

O núcleo do óvulo, haploide e pronto para se encontrar com o núcleo do espermatozoide, é o **pronúcleo feminino**. O núcleo também haploide do espermatozoide fecundante aumenta de volume e passa a ser chamado de **pronúcleo masculino**.

Algumas horas após a penetração do espermatozoide no óvulo, os pronúcleos masculino e feminino aproximam-se; seus cromossomos duplicam-se e iniciam a condensação, preparando-se para a primeira divisão mitótica do zigoto. Os pronúcleos feminino e masculino geralmente não se fundem: eles permanecem próximos e, em determinado momento, seus envoltórios degeneram, liberando os cromossomos maternos e paternos, já duplicados e condensados, no citoplasma ovular.

A união do conteúdo dos pronúcleos é a **cariogamia** (do grego *karyon*, núcleo, e *gamos*, casamento, união) ou **anfimixia** (do grego *anfi*, dois, e *mixos*, misturar); trata-se do ponto alto da fecundação, marcando a formação do zigoto, primeira célula de um novo ser.

Os cromossomos maternos e paternos duplicados ligam-se às fibras do fuso e inicia-se a separação das cromátides-irmãs para polos opostos, isto é, a anáfase da primeira mitose do zigoto. Cada polo celular recebe um lote de cromossomos maternos e um lote de cromossomos paternos. Formam-se, então, dois novos núcleos, e a citocinese origina as duas primeiras células diploides do novo indivíduo, genética e cromossomicamente idênticas ao zigoto. (Fig. 9.10)



ILUSTRAÇÕES: EDILSON BILAS

Figura 9.10 Representação esquemática das etapas da formação de um zigoto humano e de sua primeira mitose. **A.** Espermatozoide no interior do ovócito secundário. **B.** Fim da meiose do ovócito, com formação do segundo glóbulo polar e do pronúcleo feminino. **C.** Os pronúcleos masculino e feminino dispõem-se próximos ao fuso mitótico com os cromossomos já bem condensados. **D.** As cariotecas dos dois pronúcleos se desfazem e os cromossomos condensados espalham-se nas proximidades do fuso, unindo-se às fibras. **E.** Separação de cromátides-irmãs para polos opostos do fuso, nos quais se originam dois núcleos-filhos, cada um com dois conjuntos de cromossomos (um materno e outro paterno). **F.** Citocinese e formação das duas primeiras células, ou blastômeros, do embrião. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Gilbert, S. F., 2006.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

9.4 Meiose e ciclos de vida

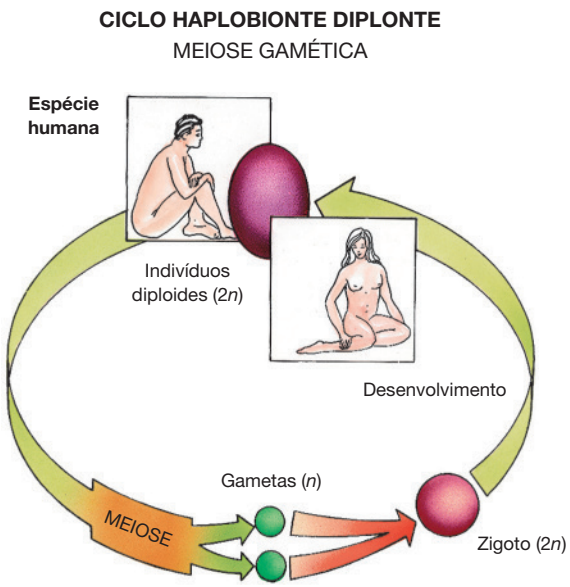
A etapa do ciclo de vida em que a meiose ocorre varia nos diferentes organismos. Nos animais, por exemplo, a meiose ocorre nas gônadas para formação dos gametas. Em algumas espécies de fungos, protozoários e algas, a meiose ocorre imediatamente após a formação do zigoto. Em certas algas e em todas as plantas, ocorre meiose em indivíduos diploides originando esporos haploides.

Em todos esses casos, a meiose é responsável pela manutenção do número de cromossomos da espécie.

Ciclo haplobionte diplonte

Em nossa espécie, o **ciclo de vida** tem início com a união de um óvulo haploide (produzido por nossa mãe) e um espermatozoide haploide (produzido por nosso pai), originando um zigoto diploide, a primeira célula de nosso corpo. A multiplicação do zigoto e o desenvolvimento embrionário levam à formação de todas as células e tecidos corporais. Na maturidade sexual, a pessoa forma gametas haploides que, ao se unirem a gametas de parceiros do sexo oposto, originam zigotos diploides, dando início a outro ciclo.

Nesse tipo de ciclo de vida, que também ocorre na maioria dos animais, a meiose leva à formação de gametas, sendo, por isso, denominada **meiose gamética**. Os biólogos denominam esse tipo de ciclo de vida como **haplobionte diplonte**. Haplobionte (do grego *haplós*, simples, um, e *bionte*, ser vivo) porque no ciclo há apenas um tipo de indivíduo, e diplonte porque a constituição dos indivíduos do ciclo é diploide. (Fig. 9.11)



ILUSTRAÇÕES: PAULO MANZI

Figura 9.11 Representação esquemática do ciclo de vida da espécie humana, em que a meiose ocorre para a formação dos gametas. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Ciclo haplobionte haplonte

Em alguns organismos, a meiose não leva à formação de gametas, como ocorre em nosso ciclo de vida. Por exemplo, em algas unicelulares do gênero *Chlamydomonas* (clamidomonas), os indivíduos maduros são haploides. Em certo momento, eles se comportam como gametas, fundindo-se dois a dois e originando zigotos diploides. Em geral, imediatamente após essa fusão ocorre meiose, que dá origem a quatro células haploides. Estas se desenvolvem em indivíduos haploides, que mais tarde podem se comportar como gametas, dando início a outro ciclo.

Uma vez que a meiose ocorre no zigoto, em geral logo após sua formação, fala-se em **meiose zigótica**. O ciclo é denominado **haplobionte haplonte**. Haplobionte porque há apenas um tipo de indivíduo no ciclo (no caso, as clamidomonas), e haplonte porque elas são haploides. (Fig. 9.12)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

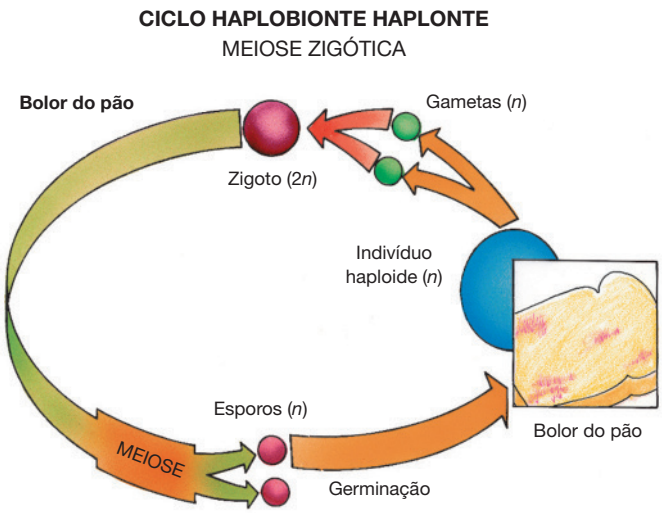


Figura 9.12 Representação esquemática do ciclo de vida do bolor de pão, em que a meiose ocorre após a formação do zigoto. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Ciclo diplobionte

Em certas espécies de algas e nas plantas, o indivíduo gerado pelo encontro dos gametas e pelo desenvolvimento do zigoto diploide não produz gametas. Quando maduro, algumas de suas células executam meiose, originando células haploides denominadas **esporos**. Cada esporo, ao se multiplicar mitoticamente, origina um indivíduo haploide. Na maturidade sexual, esses organismos haploides formam gametas haploides sem ocorrência de meiose, uma vez que suas células já são haploides. Pares de gametas unem-se e originam zigotos diploides, que se desenvolvem e originam indivíduos diploides, completando o ciclo.

Nas samambaias, por exemplo, o indivíduo diploide originado do zigoto é a planta com folhagem exuberante que utilizamos na ornamentação de casas. Essa planta não produz gametas, e sim esporos. Os locais de formação de esporos, os esporângios, são facilmente identificados como pontos ou linhas de cor marrom ou amarela sob as folhas. É nesses locais que ocorre a meiose. Quando os esporos haploides se libertam dos esporângios e caem em locais adequados, germinam e originam pequenas plantas haploides com formato de coração, os prótalos, que produzem gametas, cuja união gera novos indivíduos diploides, fechando o ciclo.

Ciclos como esse são denominados **diplobiontes** (do grego *diplos*, duplo) ou **alternantes**, porque ocorre alternância entre organismos haploides produtores de gametas – os gametófitos – e organismos diploides produtores de esporos – os esporófitos.

No **ciclo diplobionte**, a meiose que ocorre nos indivíduos diploides origina esporos, que, ao germinar, originam indivíduos haploides; por isso, fala-se em **meiose espórica**. (Fig. 9.13)

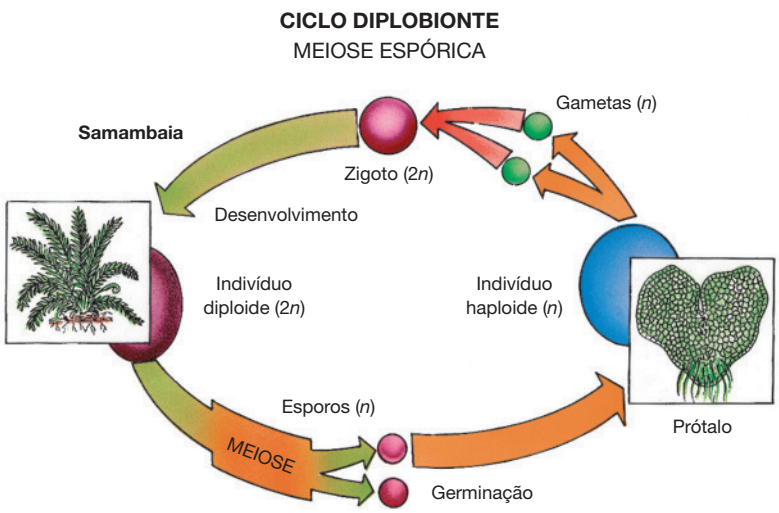


Figura 9.13 Representação esquemática do ciclo de vida de uma samambaia, em que a meiose ocorre para a formação dos esporos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: PAULO MANZI

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

1. O que caracteriza a reprodução assexuada é a 1. d
a) autofecundação.
b) ausência de permutação cromossômica.
c) descendência variada.
d) ausência de fecundação.

2. O processo celular de redução cromossômica associado aos ciclos de vida sexuados é a 2. c
a) isogamia.
b) permutação.
c) meiose.
d) mitose.

3. A troca de pedaços entre cromátides homólogas que ocorre durante a prófase I da meiose denomina-se 3. d
a) diacinese.
b) diplóteno.
c) paquíteno.
d) permutação.
e) quiasma.

Utilize as alternativas a seguir para responder às questões de 4 a 8.
a) Os cromossomos estão emparelhados dentro do núcleo, com cruzamentos entre cromátides de cromossomos homólogos.
b) Os cromossomos apresentam duas cromátides migrando juntas para cada polo da célula.
c) Os cromossomos são constituídos por um único fio, em separação, para polos opostos da célula.
d) Os cromossomos homólogos ainda estão unidos por quiasmas, dispostos na região mediana do fuso acromático.

4. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na prófase I da meiose? 4. a

5. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na metáfase I da meiose? 5. d

6. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na anáfase I da meiose? 6. b

7. Qual alternativa descreve um evento que ocorre na anáfase II da meiose? 7. c

8. Qual alternativa traz a descrição de um evento que ocorre tanto na meiose como na mitose? 8. c

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 9 e 10.
a) mitose, apenas.
b) meiose I, apenas.
c) meiose I e meiose II.
d) mitose e meiose II.

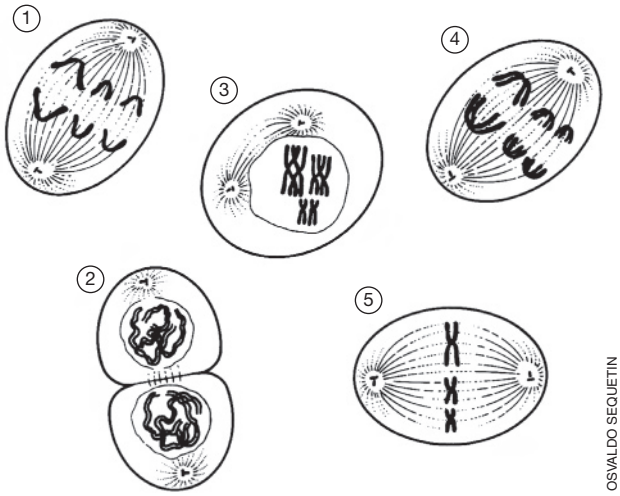
9. Os cromossomos homólogos migram para polos opostos da célula na (▬). 9. b

10. As cromátides-irmãs migram para polos opostos da célula na (▬). 10. d

Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

11. Um pesquisador desenhou células de um animal em diversas fases do processo de meiose. Com base nos desenhos mostrados a seguir, identifique o número de cromossomos presentes em células haploides e diploides (*n* e 2*n*) desse animal e a fase em que se encontra cada uma das células esquematizadas. Explique suas conclusões.



OSVALDO SEQUETIN

(Elementos fora de proporção de tamanho entre si.)

12. A educação sexual e o controle da natalidade são vistos atualmente pela nossa sociedade de maneira bem distinta do que ocorria há algumas décadas. Para aprofundar seu conhecimento sobre esse assunto, forme um grupo com seus colegas e entreviste pessoas mais velhas, como seus avós, bisavós, tios, pais etc., perguntando-lhes como era tratada a sexualidade humana na época em que elas eram adolescentes. Sua primeira tarefa é elaborar uma lista de perguntas – o roteiro da entrevista. A seguir, algumas sugestões de perguntas:
- Qual era o nível de informação sobre sexo, reprodução e métodos anticoncepcionais que você tinha aos 15 anos de idade?
- Qual é a visão que você tem hoje sobre esses assuntos?
- Qual é sua opinião sobre as mudanças na maneira como a sociedade trata esses assuntos?

Registre a idade, o sexo e o grau de escolaridade de cada pessoa entrevistada; anote também os pontos principais das entrevistas. Ao final, produza um texto no formato reportagem de revista, traçando um panorama cronológico de como os assuntos relacionados à sexualidade humana eram tratados pela sociedade. Inclua também a opinião de colegas da sua idade.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

13. Construção de modelos: Simulando os eventos da meiose

Nesta atividade, vamos simular a meiose utilizando um modelo concreto para facilitar a compreensão desse processo.
Sugerimos trabalhar em grupos de três ou quatro colegas, para que haja troca de ideias durante a elaboração dos modelos. Se possível, fotografe cada uma das etapas e monte um painel com a sequência obtida, identificando pelos respectivos nomes cada uma das etapas. Alternativamente, você pode utilizar fotografias e vídeos para produzir uma pequena animação da meiose.

Material

- massa de modelar (ou barbantes grossos) de pelo menos quatro cores diferentes;
- folhas grandes de papel de embrulho;
- linha ou barbante fino;
- opcional: câmera fotográfica.

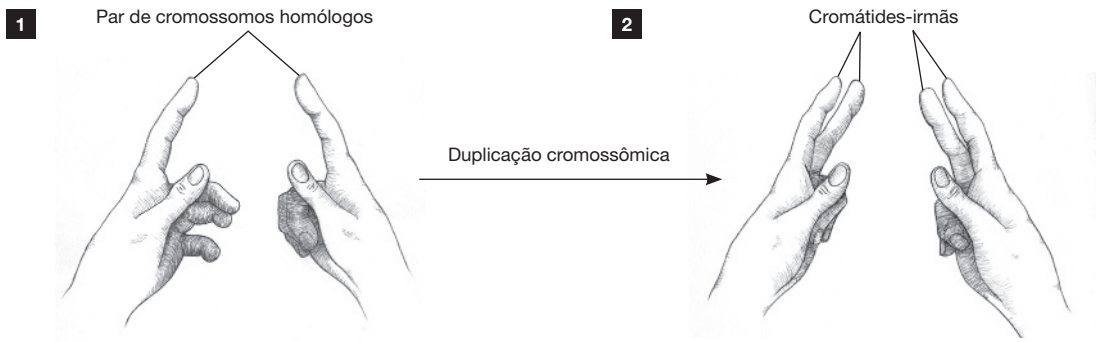
Procedimento

1. Forre a mesa de trabalho com uma folha de papel de embrulho e desenhe sobre ela um círculo grande para representar os limites da célula.
2. Com a massa de modelar (ou os barbantes grossos), represente um par de cromossomos metacêntricos e um par de cromossomos acrocêntricos, usando uma cor para cada cromossomo. Uma célula com apenas esses cromossomos teria número diploide $2n = 4$. Faça cromossomos longos, pois vamos simular o fenômeno da permutação.
3. Os cromossomos metacêntricos devem ser representados por dois rolinhos de aproximadamente 10 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro. Uma bolinha de massa de cor diferente, grudada à região mediana de cada cromossomo, representa o centrômero.
4. Os outros dois rolinhos podem ser mais curtos que os primeiros (apenas para diferenciá-los melhor) e representam o par de cromossomos acrocêntricos. Coloque a bolinha de massa que representa o centrômero bem perto de uma das extremidades.
5. Posicione os modelos de cromossomos sobre a folha de papel de embrulho e dê início à atividade. O primeiro passo é representar a duplicação dos cromossomos, fazendo novos rolinhos idênticos aos anteriores e unindo-os aos cromossomos correspondentes pela região do centrômero.
6. Distribua os modelos de cromossomos duplicados sobre a folha de papel de embrulho e inicie a simulação. O que ocorre na prófase I? Imagine que ocorra uma permutação em cada cromossomo. Como representá-la no modelo? Que tipo de separação cromossômica ocorre na anáfase I? E na anáfase II?
7. Para simular a separação dos cromossomos, amarre uma linha às regiões centroméricas e puxe cada cromossomo pelos polos opostos.
8. Uma vez visualizados os eventos gerais da segregação dos cromossomos na meiose e da permutação, seu desafio é fazer modelos para cada subfase da prófase I e das outras fases, mostrando a sequência completa em modelos tridimensionais.

14. Atividade prática: Representando a meiose com os dedos

Nesta atividade, você vai representar as separações cromossômicas da meiose com os dedos de suas mãos. Apesar de simples, a atividade permite compreender a essência do processo meiótico e as leis básicas da Genética.

Os desenhos de números 1 e 2 servem de referência, apresentando a proposta da atividade. Nos desenhos seguintes, o seu desafio é explicar o significado de cada representação.

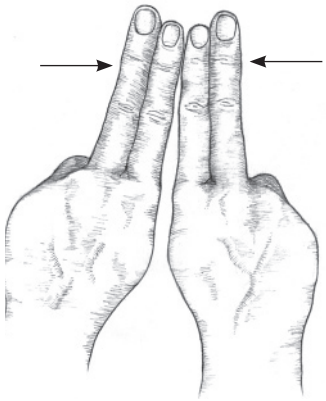


ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

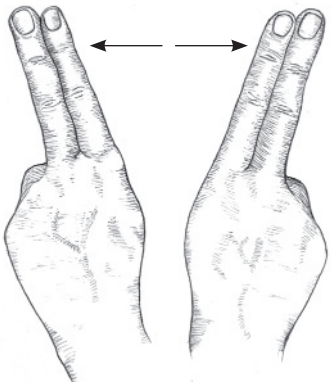
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

a) Os desenhos de números 3 e 4 representam dois eventos que ocorrem, respectivamente, na prófase I e na anáfase I da meiose. Que eventos são esses?

3



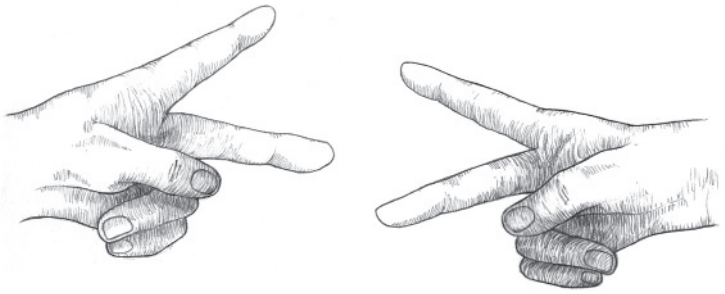
4



ILUSTRAÇÕES DOS AUTORES

b) O desenho de número 5 representa um evento meiótico equivalente, em termos da separação cromossômica, ao que ocorre na mitose. Que evento é esse?

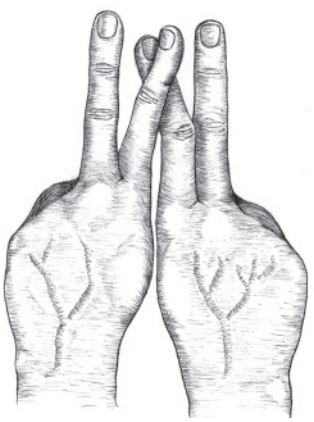
5



c) No desenho de número 6 está representado um determinado evento meiótico. Qual é ele? Identifique-o e discuta sua importância para a meiose.

d) Seu desafio agora é representar a meiose com os dedos como um processo contínuo, que se desenvolve à medida que você narra o que está ocorrendo. Enfatize as separações cromossômicas da primeira e da segunda divisão da meiose, discutindo os conceitos de diploidia e de haploidia. Represente também a mitose com os dedos. Se possível, realize esse trabalho em grupo e filme as simulações. Os vídeos podem ser apresentados para a sala ou mesmo compartilhados na internet, em *blogs* ou redes sociais.

6



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (UFRRJ) Da fusão dos gametas masculino e feminino, ambos haploides, surge a célula-ovo ou zigoto, em que se restabelece o número diploide. Comparando a quantidade de DNA encontrada no núcleo das células somáticas de um camundongo, podemos afirmar que é igual: 1. b

a) à quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

b) a duas vezes a quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

c) à metade da quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

d) a quatro vezes a quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

e) à quarta parte da quantidade de DNA encontrada no núcleo dos espermatozoides desse animal.

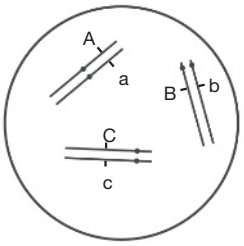
2. (UFSCar-SP) Um pesquisador verificou que o núcleo celular dos óvulos de uma certa espécie de formiga tem 4 cromossomos e uma quantidade *x* de DNA. Considerando que os machos de formiga desenvolvem-se por partenogênese e são haploides, que quantidade de DNA e de cromossomos se espera encontrar no núcleo dos espermatozoides dessa espécie? 2. c

a) 2*x* de DNA e 8 cromossomos.
b) 2*x* de DNA e 4 cromossomos.
c) *x* de DNA e 4 cromossomos.
d) *x* de DNA e 2 cromossomos.
e) $\frac{1}{2}x$ de DNA e 2 cromossomos.

3. (UFMA) Com relação à gametogênese humana, é correto afirmar que: 3. e

a) cada ovócito I produz 4 ovócitos II.
b) ovogônias e ovócitos primários são formados durante toda a vida da mulher.
c) espermatogônias são formadas apenas durante a vida intrauterina.
d) cada espermatócito I produz um espermatozoide.
e) a ovulogênese só é concluída se o ovócito II for fecundado.

4. (UFSCar-SP) Sessenta células de um animal, com a constituição representada na figura, sofrem meiose. São esperados, apresentando a constituição ABC: 4. a



ADILSON SECCO

a) 30 espermatozoides.
b) 60 espermatozoides.
c) 90 espermatozoides.
d) 120 espermatozoides.
e) 180 espermatozoides.

5. (Unir-RO) Comparando a ovulogênese (I) com a espermatogênese (II), todas as alternativas abaixo estão corretas, exceto: 5. e

a) Nos dois processos ocorre meiose.
b) Ambos são importantes para manter constante o número de cromossomos típicos de cada espécie.
c) I ocorre nos ovários e II, nos testículos.
d) Há maior produção de gametas em II do que em I.
e) Em I e II, as células formadas são diploides.

6. (UEL-PR) A seguir estão esquematizados núcleos de um gametócito de primeira ordem, de um gametócito de segunda ordem e de uma tide (ovótide ou espermátide), de uma mesma espécie animal. Durante a gametogênese, as fases esquematizadas ocorrem na seguinte ordem: 6. c

OSVALDO SEQUETIN

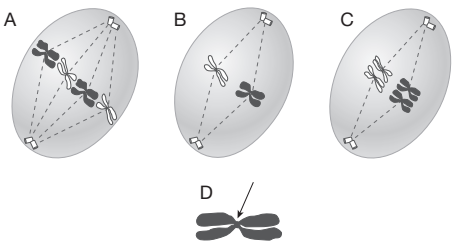
a) A B C
b) A C B
c) B C A
d) B A C
e) C A B

Questões discursivas

7. (Fuvest-SP) Considere os processos de mitose e meiose.

a) Qual o número de cromossomos das células originadas, respectivamente, pelos dois processos na espécie humana?
b) Qual a importância biológica da meiose?

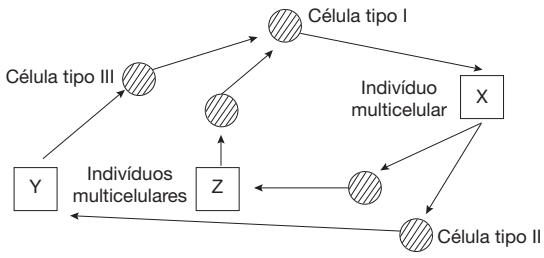
8. (Unicamp-SP) Os esquemas A, B e C abaixo representam fases do ciclo de uma célula que possui $2n = 4$ cromossomos.



ADILSON SECCO

a) A que fases correspondem as figuras A, B e C? Justifique.
b) Qual é a função da estrutura cromossômica indicada pela seta na figura D?

9. (Fuvest-SP) As algas apresentam os três tipos básicos de ciclo de vida que ocorrem na natureza. Esses ciclos diferem quanto ao momento em que ocorre a meiose e quanto à ploidia dos indivíduos adultos. No esquema abaixo está representado um desses ciclos.



ADILSON SECCO

a) Identifique as células tipo I, II e III.
b) Considerando que o número haploide de cromossomos dessa alga é 12 ($n = 12$), quantos cromossomos os indivíduos X, Y e Z possuem em cada uma de suas células?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 10 Desenvolvimento embrionário animal

DR. YORGOS NIKAS/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

A fecundação leva à formação do zigoto, primeira célula do novo ser; essa célula primordial se multiplica continuamente e origina o embrião. Na imagem, fotomicrografia colorizada artificialmente de embrião humano com apenas quatro dias de desenvolvimento mostrando suas células, denominadas blastômeros. (Microscópio eletrônico de varredura; aumento ≈ 700×.)

O empreendimento embrionário

Nos primeiros anos de vida, uma criança passa de aproximadamente 3 kg ao nascer para cerca de 30 kg aos sete anos de idade, um aumento de dez vezes em relação à massa corpórea inicial.

Achou muito? Pois saiba que um zigoto humano tem cerca de 3 milionésimos de grama (0,000003 g) e, depois de cerca de 9 meses de desenvolvimento intrauterino, origina um bebê que pode chegar a mais de 3 kg (3.000 g). Isso representa um aumento de massa corpórea da ordem de 1 bilhão de vezes em menos de um ano e mostra o fantástico ritmo do crescimento embrionário.

No começo do desenvolvimento embrionário, as divisões celulares se sucedem com tal rapidez que as células do embrião não têm tempo de crescer. É por isso que um embrião com 128 células é apenas um pouco maior que o zigoto que o originou. Entretanto, depois de algum tempo, o ritmo das divisões diminui e as células crescem entre uma divisão e outra. Os efeitos combinados da multiplicação e do crescimento celular explicam o formidável aumento de massa do embrião durante seu desenvolvimento intrauterino.

A partir do zigoto são originados os mais de 10 trilhões de células que compõem o corpo de uma pessoa adulta. O que realmente impressiona é que há centenas de tipos de células, especializados nas mais diversas funções: revestimento, contração, percepção, secreção, armazenamento e mais algumas centenas de especialidades. Todos funcionando nos locais corretos do corpo.

Pense no desenvolvimento de um embrião como um fantástico empreendimento celular. Trata-se nada menos do que "construir" um organismo altamente complexo a partir de uma microscópica "pedra fundamental", o zigoto. Um empreendimento desse porte não seria possível sem um alto grau de organização, com etapas se sucedendo rigorosamente dentro do prazo. Como isso ocorre? Embora já se conheça o passo a passo celular desse empreendimento, seus mecanismos de controle ainda hoje desafiam a compreensão dos estudiosos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A importância do assunto

Pense nisto: o encontro de um par de gametas conduz à maravilhosa organização de um ser humano. Essa organização é rigorosamente "construída", célula por célula, durante o desenvolvimento embrionário.

Neste capítulo, estudaremos as linhas gerais da embriogênese, nome dado ao processo de desenvolvimento dos embriões. Vamos nos concentrar apenas nos seus aspectos básicos, uma vez que esse processo varia muito nos diversos grupos animais.

Não se desestimule com a nomenclatura e concentre-se na compreensão das linhas gerais do desenvolvimento embrionário. Além disso, não se surpreenda se o capítulo trouxer muitas perguntas além das respostas: é assim que o conhecimento progride!

10.1 Segmentação e formação da blástula

Na reprodução sexuada dos animais multicelulares, a partir da fusão dos gametas forma-se a primeira célula do novo ser, o **zigoto**. Imediatamente após a fecundação, o zigoto inicia o desenvolvimento e origina o **embrião**, um conjunto celular que se transforma gradualmente em um novo organismo. O processo de desenvolvimento embrionário é chamado **embriogênese** (do grego *genese*, origem, criação). Embora o tipo de desenvolvimento embrionário varie entre as espécies de animais, em todas elas é possível distinguir três etapas principais: segmentação (ou clivagem), gastrulação e organogênese.

Nosso foco neste capítulo se limita aos aspectos embriológicos básicos. O mais importante, em nossa opinião, é levar os estudantes a perceber a sequência de transformações que leva uma única célula – o zigoto – a originar um organismo completo. Explore mais os padrões gerais que os detalhes.

Na etapa de **segmentação**, como o próprio nome sugere, o zigoto divide-se rápida e seguidamente por mitose, originando um aglomerado maciço de células conhecidas como **blastômeros**. Esse aglomerado de blastômeros, pouco maior que o zigoto, lembra uma amora microscópica, sendo, por isso, chamado **mórula** (do latim *morula*, amora).

À medida que o desenvolvimento prossegue, ocorre acúmulo de líquido entre as células embrionárias, o que leva ao aparecimento de uma cavidade central. Nesse estágio, o embrião é chamado **blástula** e a cavidade cheia de líquido é a **blastocela** (do latim *cella*, pequeno quarto, cavidade).

Na fase inicial do desenvolvimento, que vai do zigoto até a blástula plenamente formada, as divisões celulares sucedem-se com grande rapidez; na mosca drosófila, por exemplo, apenas 12 horas após a primeira segmentação o embrião tem mais de 50 mil células; um embrião de rã com apenas 43 horas de vida é constituído por nada menos que 37 mil células.

Tipos de ovos e segmentação

Durante o desenvolvimento, as células embrionárias nutrem-se exclusivamente de substâncias que se acumularam no citoplasma do gameta feminino enquanto ele se desenvolvia no organismo materno. Por exemplo, nos ovos de galinha, a gema é uma célula-ovo extremamente desenvolvida, repleta de material nutritivo que será utilizado durante o desenvolvimento do futuro pintinho.

Comente com os alunos que a célula-ovo se refere ao zigoto, resultante da união dos gametas feminino e masculino. No caso de um ovo não galado, isto é, que não vai gerar um pintinho, a gema representa simplesmente o gameta feminino não fecundado, mas bastante desenvolvido e repleto de material nutritivo.

As substâncias nutritivas, constituídas predominantemente por gorduras e proteínas, estão armazenadas no citoplasma dos ovos na forma de grânulos de **vitelo**. Dependendo da espécie, a quantidade e a distribuição dos grãos de vitelo no ovo variam. Quanto a esses dois critérios, os ovos podem ser classificados em quatro tipos básicos: oligolécitos, mesolécitos, megalécitos e centrolécitos. Os estudos embriológicos mostram que há uma nítida relação entre o tipo de ovo e o que ocorre na segmentação, como veremos adiante.

Ovos oligolécitos (do grego *oligos*, pouco), também chamados isolécitos (do grego *isos*, igual), têm quantidade relativamente pequena de vitelo, distribuída de forma mais ou menos homogênea no citoplasma. Esse tipo de ovo está presente em cordados, equinodermos, moluscos, anelídeos, nematódeos e platelmintos. Em muitos mamíferos, entre eles a espécie humana, a quantidade de vitelo nos ovos é tão pequena que eles são chamados **alécitos** (do grego *a*, negação, isto é, sem vitelo).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

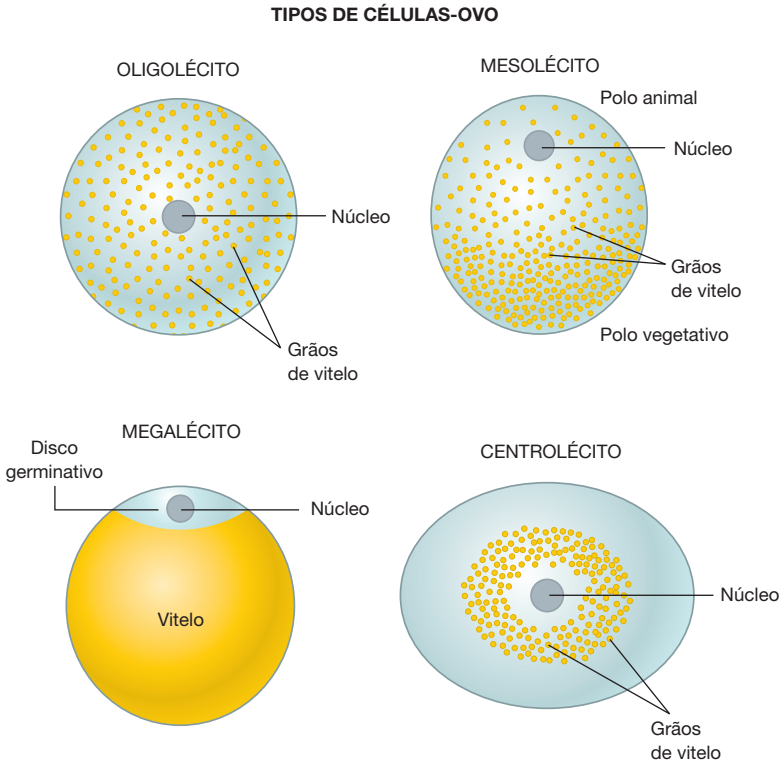


Figura 10.1 Representação esquemática dos tipos de ovo em relação à distribuição do vitelo no citoplasma. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Ovos mesolécitos (do grego *mesos*, intermediário), também chamados ovos heterolécitos (do grego *heteros*, diferente, desigual), têm quantidade relativamente grande de vitelo, distribuída de forma desigual no citoplasma. Um dos polos do ovo, no qual se localiza o núcleo, tem menos vitelo e é denominado **polo animal**. O polo oposto tem maior quantidade de grãos de vitelo e é denominado **polo vegetativo**. Esse tipo de ovo é característico dos anfíbios.

Ovos megalécitos (do grego *mega*, grande), também chamados ovos telolécitos (do grego *telos*, extremidade), têm muito vitelo acumulado no citoplasma. O vitelo ocupa quase toda a célula-ovo, que em algumas espécies chega a medir alguns centímetros de diâmetro. Esse tipo de ovo está presente em aves, répteis, certos peixes e nos moluscos cefalópodes (polvos e lulas).

Ovos centrolécitos (do grego *centro*, meio, centro) têm quantidade relativamente grande de vitelo, concentrada na região central. Esse tipo de ovo ocorre na maioria dos artrópodes. (Fig. 10.1)

Como mencionamos, há relação entre a quantidade e a distribuição de vitelo no ovo e o que ocorre na segmentação, uma vez que a presença de vitelo interfere na citocinese, isto é, na segmentação celular. Em geral, em ovos com pouco vitelo, as duas primeiras segmentações "cortam" totalmente o citoplasma, enquanto ovos com muito vitelo têm segmentações incompletas, que não chegam a dividi-lo totalmente.

A segmentação dos ovos, portanto, pode ser de dois tipos: holoblástica (ou total) e meroblástica (ou parcial). A segmentação **holoblástica** (do grego *holos*, inteiro) ou **total** ocorre quando os blastômeros se separam completamente; a segmentação **meroblástica** (do grego *meros*, parte) ou **parcial** ocorre quando as células-filhas se separam de forma incompleta na citocinese.

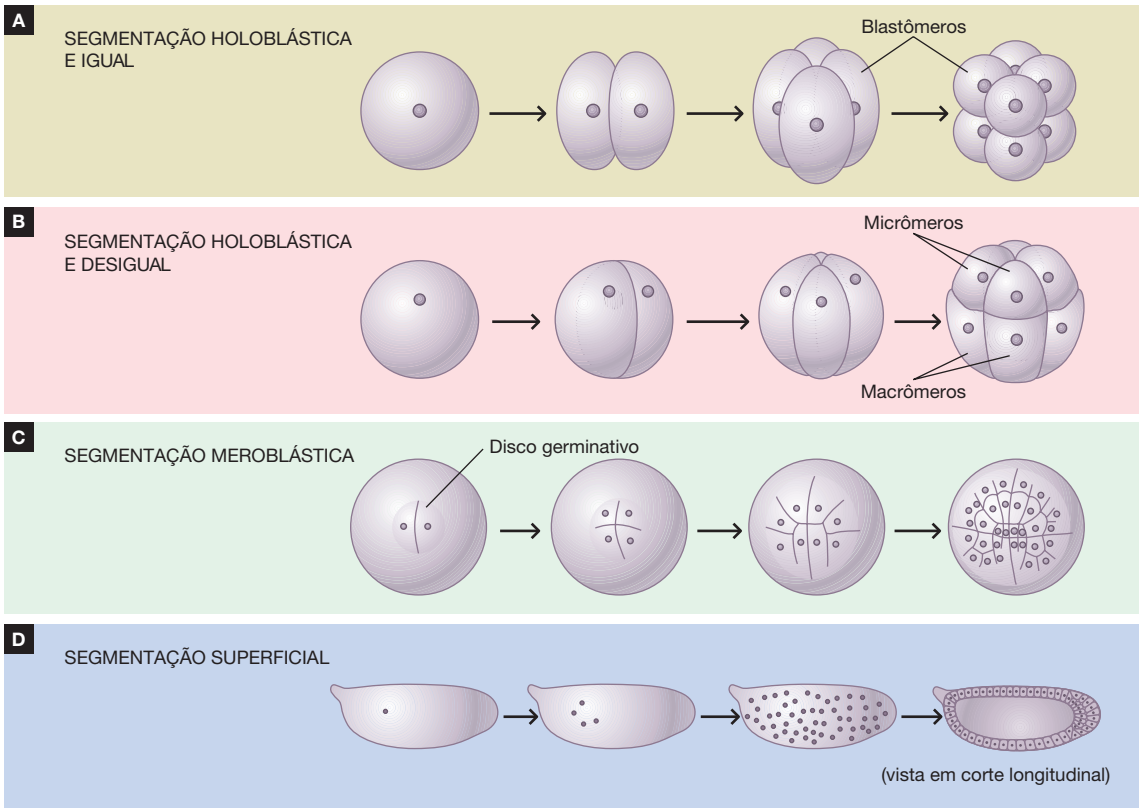
Dependendo da distribuição de vitelo no ovo, as segmentações podem resultar em blastômeros aproximadamente do mesmo tamanho ou em blastômeros desiguais; os blastômeros maiores têm mais vitelo que os menores. Por exemplo, em ovos alécitos e oligolécitos, que têm pouco vitelo distribuído homogeneamente no citoplasma, a segmentação é holoblástica e resulta em blastômeros de tamanho aproximado.

Ovos mesolécitos, apesar de sua quantidade razoável de vitelo, também têm segmentação holoblástica. Entretanto, o vitelo acumulado no polo vegetativo determina a segmentação desigual do ovo: os blastômeros do polo vegetativo são maiores e mais ricos em vitelo que os formados no polo animal. Os blastômeros maiores são denominados **macrômeros** e os menores, **micrômeros**.

Ovos megalécitos, por sua vez, têm quantidade tão grande de vitelo que as estruturas citoplasmáticas e o núcleo limitam-se a uma pequena área do polo animal, formando um disco superficial de 2 a 3 milímetros de diâmetro, o **disco germinativo**. Nesse tipo de ovo, as segmentações ocorrem apenas na região do disco germinativo, enquanto a parte do ovo repleta de vitelo não se divide. Nesse caso, a segmentação é meroblástica discoidal.

Nos ovos centrolécitos, inicialmente apenas os núcleos se dividem, sem formação de células individualizadas. Após certo número de mitoses, os núcleos migram para a periferia do ovo e dispõem-se embaixo da membrana ovular. A seguir, formam-se membranas entre os núcleos, individualizando células, que se dispõem em uma camada no embrião. Nesse caso, a segmentação é denominada superficial. (Fig. 10.2)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

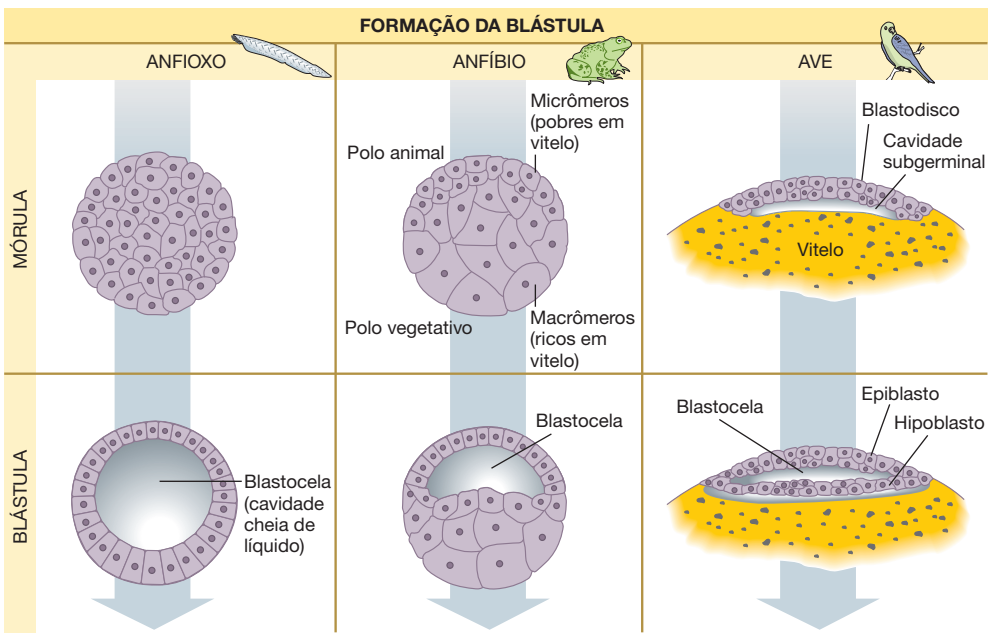


ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Considere a possibilidade de utilizar modelos tridimensionais construídos pelos estudantes em argila ou em massa de modelar, como sugerimos na seção *Faça você mesmo!*. Atividades de desenho também ajudam a concretizar os conceitos referentes aos estágios iniciais do desenvolvimento.

Figura 10.2 Representação esquemática de alguns tipos de segmentação de ovos. **A.** Segmentação holoblástica e igual (anfioxo). **B.** Segmentação holoblástica e desigual (anfíbios). **C.** Segmentação meroblástica e discoidal (répteis e aves). **D.** Segmentação superficial (insetos). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Gilbert, S., 2000.)

A blástula originada de ovos oligolécitos é, em geral, uma bola de células com uma grande cavidade central cheia de líquido. Na blástula proveniente de ovos mesolécitos, a blastocela é relativamente pequena e restrita à região do polo animal. Por sua vez, a blástula que se origina de ovos megalécitos resume-se a uma pequena calota de células, o **blastodisco**, composto de duas camadas celulares, o epiblasto e o hipoblasto. A blastocela é um espaço cheio de líquido que surge entre essas duas camadas celulares. (Fig. 10.3)



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 10.3 Representação esquemática, em corte, de tipos de blástula. No anfioxo (ovo oligolécito e segmentação holoblástica e igual), a blástula apresenta uma blastocela grande e central. Nos anfíbios (ovo mesolécito e segmentação holoblástica e desigual), a blástula é mais maciça, com a blastocela deslocada para o polo animal. Nas aves (ovo megalécito), a segmentação é meroblástica e discoidal, e a blastocela surge entre o epiblasto e o hipoblasto. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

10.2 Gastrulação

O estágio embrionário que se sucede à blástula é chamado **gástrula** e seu processo de formação é denominado **gastrulação**.

Durante essa etapa da embriogênese, as células embrionárias passam por grandes alterações, que definem o plano corporal básico do futuro animal.

Na gastrulação, células que darão origem a músculos e órgãos internos migram para o interior do embrião, enquanto células precursoras da pele e do sistema nervoso dispõem-se na superfície.

A migração de células para dentro do embrião faz com que a blastocela dê lugar a uma nova cavidade, o **arquêntero** (do grego *archeos*, primitivo, e *enteron*, intestino) ou **gastrocela** (do grego *gastros*, estômago, e *cela*, cavidade). Esses nomes indicam que a cavidade interna da gástrula é o "esboço" do tubo digestivo do futuro organismo.

O arquêntero comunica-se com o meio externo através de uma abertura denominada **blastóporo**.

Nos cordados (grupo ao qual pertencem os vertebrados) e nos equinodermos (ouriços-do-mar e estrelas-do-mar, por exemplo), o blastóporo origina o ânus do futuro animal. A boca forma-se em momento posterior do desenvolvimento, no lado oposto ao do arquêntero. Por isso, esses animais são chamados **deuterostômios** (do grego *deuteros*, segundo, e *stoma*, boca).

Em todos os outros grupos de animais que têm tubo digestivo completo (nematódeos, moluscos, anelídeos e artrópodes), o blastóporo origina a boca e o ânus surge posteriormente. Por isso, esses animais são chamados **protostômios** (do grego *protos*, primeiro, e *stoma*, boca).

Formação dos folhetos germinativos

Na maioria das espécies animais, durante o estágio de gástrula originam-se três conjuntos de células dos quais derivam todos os tecidos corporais: os **folhetos germinativos**.

O folheto germinativo mais externo, que reveste o embrião, é denominado **ectoderma** (do grego *ecto*, fora). Dele se originam a epiderme – a camada externa da pele – e diversas estruturas associadas a ela, como pelos, unhas, garras, glândulas sebáceas e glândulas sudoríparas. Do ectoderma surge também o sistema nervoso, composto pelo encéfalo, medula espinhal, nervos e gânglios nervosos.

O folheto germinativo mais interno, que delimita a cavidade do arquêntero, é o **endoderma** (do grego *endo*, dentro). Ele origina o revestimento interno do tubo digestivo e forma as diversas estruturas glandulares associadas à digestão, tais como glândulas salivares, glândulas mucosas, pâncreas, fígado e glândulas estomacais. O endoderma também origina o sistema respiratório (brânquias ou pulmões).

O folheto germinativo situado entre o ectoderma e o endoderma é o **mesoderma** (do grego *meso*, meio). Ele origina músculos, ossos, sistema cardiovascular (coração, vasos sanguíneos e sangue), sistema urinário (rins, bexiga e vias urinárias) e sistema genital. (Fig. 10.4)

No início do desenvolvimento embrionário diferencia-se uma linhagem celular especial, denominada linhagem germinativa, cujas células migram para os primórdios das gônadas (sistema genital) e originarão os gametas nos animais adultos. Todas as demais células do embrião constituem a chamada linhagem somática. (Fig. 10.5)

Entre os animais, as esponjas são os únicos que não apresentam folhetos germinativos em seus embriões.

Nos cnidários (águas-vivas, anêmonas e corais, por exemplo), os embriões têm apenas dois folhetos germinativos, o ectoderma e o endoderma, e, por isso, eles são chamados animais **diblásticos**.

Em todos os outros grupos de animais, os embriões formam três folhetos germinativos, sendo denominados animais **triblásticos**.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

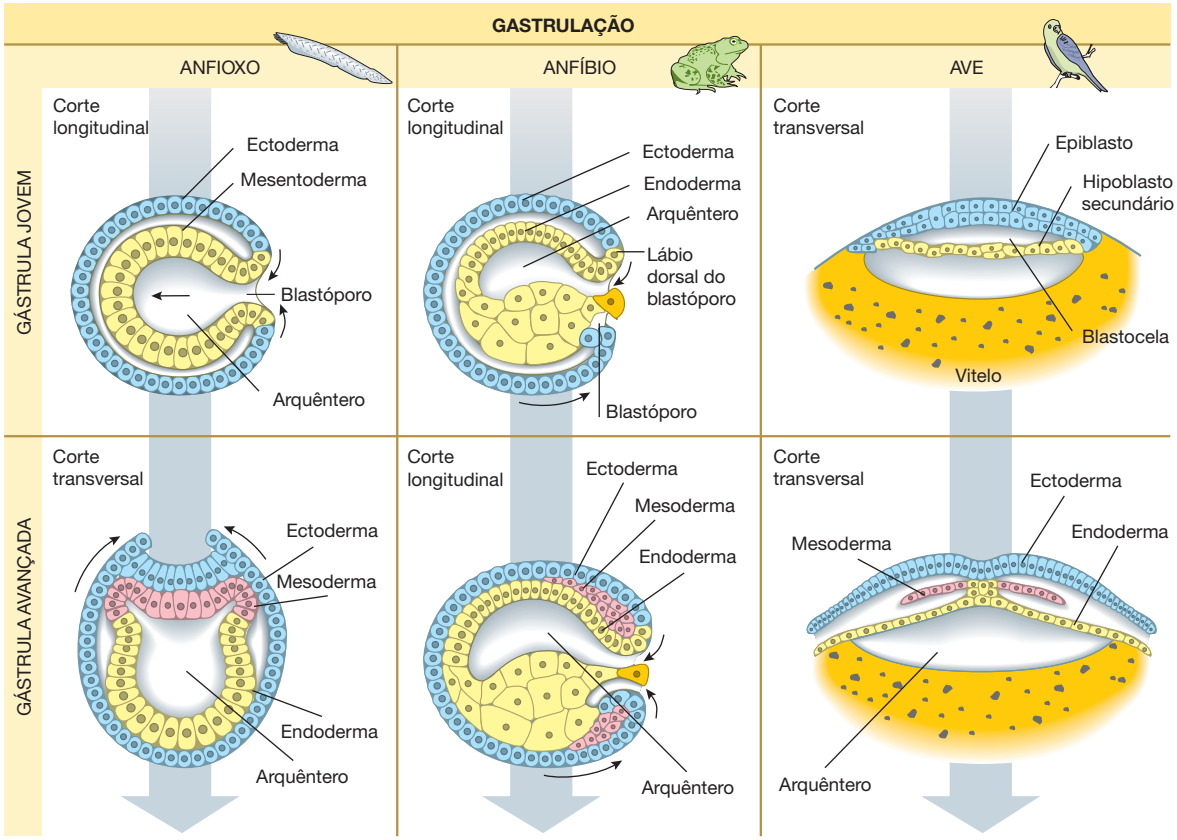
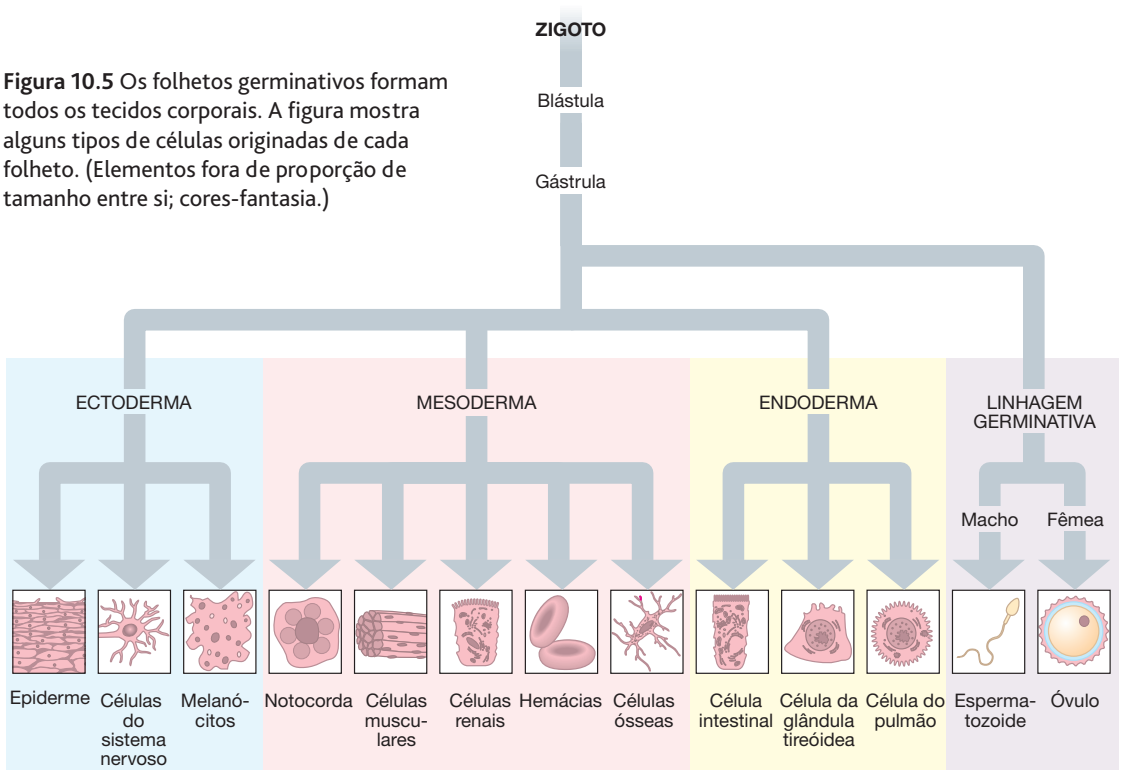


Figura 10.4 Representação esquemática em que se comparam os processos de gastrulação de anfioxos, anfíbios e aves. No anfioxo, as células de um polo da blástula parecem ser empurradas para dentro da blastocela. Nos anfíbios, a gastrulação ocorre pela migração de células do lábio dorsal do blastóporo para o interior da blastocela e, também, pelo crescimento de células da camada externa, que penetram pelo lábio inferior. Nas aves, formam-se lâminas transversais de células, que originam os três tecidos embrionários básicos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Figura 10.5 Os folhetos germinativos formam todos os tecidos corporais. A figura mostra alguns tipos de células originadas de cada folheto. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)



Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

10.3 Organogênese

O estágio de nêurula

Durante o desenvolvimento dos animais cordados, ao final do estágio de gástrula, células embrionárias localizadas ao longo do dorso do embrião começam a se diferenciar, originando uma estrutura tubular oca, o **tubo nervoso** ou **tubo neural**, e um cordão maciço de células, a **notocorda**. Nesse estágio de desenvolvimento embrionário, o embrião é denominado **nêurula** (do grego *neuron*, nervo), uma vez que aí começa a ser esboçado o sistema nervoso.

Tubo nervoso

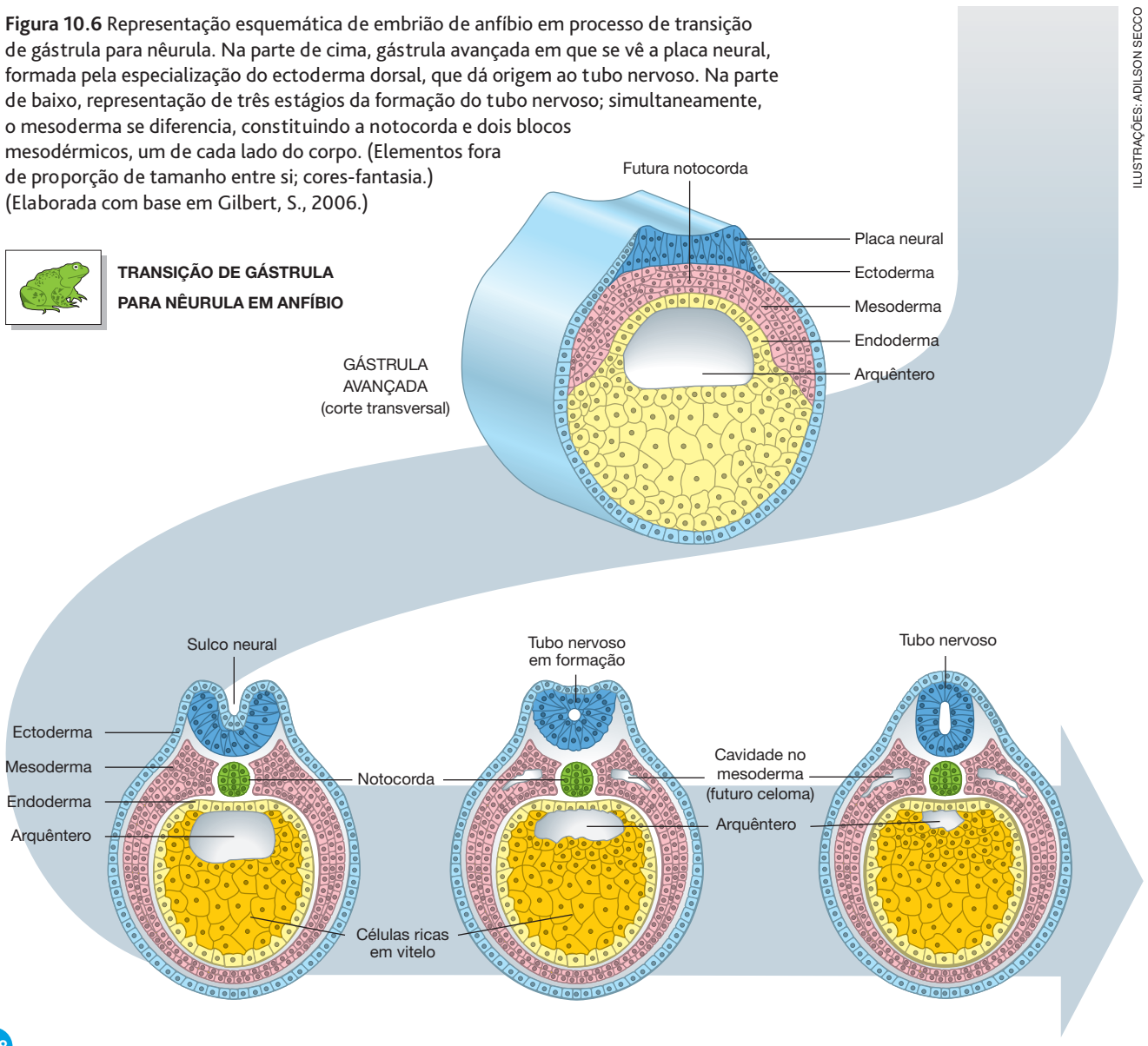
A formação do **tubo nervoso** é induzida por substâncias liberadas por células do mesoderma e da região anterior do endoderma. A diferenciação das células ectodérmicas dorsais leva à formação de uma placa achatada no dorso embrionário, a **placa neural**.

A placa neural desenvolve-se a partir da região anterior, diferenciando-se em direção à extremidade posterior do embrião. No decorrer de sua formação, a placa neural se dobra e assume progressivamente o aspecto de uma calha (sulco ou goteira neural) ao longo do dorso do embrião.

O dobramento da placa neural prossegue até que suas bordas laterais se fundem, isolando um tubo de células ao longo do dorso do embrião – o tubo nervoso. O revestimento ectodérmico dorsal regenera-se sobre esse tubo. (Fig. 10.6)

Figura 10.6 Representação esquemática de embrião de anfíbio em processo de transição de gástrula para nêurula. Na parte de cima, gástrula avançada em que se vê a placa neural, formada pela especialização do ectoderma dorsal, que dá origem ao tubo nervoso. Na parte de baixo, representação de três estágios da formação do tubo nervoso; simultaneamente, o mesoderma se diferencia, constituindo a notocorda e dois blocos mesodérmicos, um de cada lado do corpo. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Gilbert, S., 2006.)

TRANSIÇÃO DE GÁSTRULA PARA NÊURULA EM ANFÍBIO



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A formação do tubo nervoso ocorre de maneira diferente nos diversos grupos de animais. Nas aves, por exemplo, o fechamento do tubo nervoso progride da cabeça em direção à cauda. Nos mamíferos, o fechamento inicia-se em diversos pontos ao longo da placa neural. Alguns tipos de malformação congênita neurológica devem-se exatamente a falhas no fechamento de uma ou de outra parte do tubo nervoso que dará origem ao sistema nervoso central, composto pelo encéfalo e pela medula espinal.

Na espécie humana, uma falha do fechamento na região anterior do tubo nervoso causa a anencefalia, que leva à morte. Uma condição patológica conhecida como espinha bífida, cuja gravidade depende do local e do grau de comprometimento da medula espinal, é decorrente de uma falha de fechamento na região posterior do tubo nervoso, em torno do 27º dia de vida do embrião. Defeitos de formação do tubo nervoso na espécie humana, considerados em conjunto, são relativamente frequentes, da ordem de 1 caso para cada 500 nascimentos.

Notocorda

Ao mesmo tempo que o tubo nervoso se diferencia, um conjunto de células situado embaixo dele se isola do mesoderma e forma um bastão sólido ao longo da região dorsal: a **notocorda** (do grego *notos*, dorso, costas), também chamada **corda dorsal**.

A notocorda é uma estrutura exclusiva de animais cordados. Embora presente no desenvolvimento embrionário de todos eles, desaparece na fase adulta da maioria das espécies. Hoje se sabe que, além de dar suporte estrutural ao tubo nervoso, a notocorda libera substâncias que induzem a diferenciação do tubo nervoso.

Mesoderma e endoderma

Enquanto o tubo nervoso se forma, o mesoderma desenvolve-se e passa a preencher os espaços entre o ectoderma e o endoderma embrionários.

O mesoderma situado ao longo do dorso do embrião (mesoderma paraxial) divide-se em blocos transversais denominados **somitos**. A partir deles formam-se a derme, a coluna vertebral, as costelas e os músculos estriados esqueléticos.

As regiões laterais do mesoderma (mesoderma intermediário) originam o sistema urogenital, constituído pelos rins, a parte não germinativa das gônadas e seus respectivos canais (ductos).

A região ventral do mesoderma separa-se em duas lâminas celulares, uma mais externa e em contato com o ectoderma – a **somatopleura** ou mesoderma parietal – e outra mais interna – a **esplancnopleura** ou mesoderma visceral –, em contato com o endoderma. O espaço entre essas duas camadas mesodérmicas, preenchido por líquido, é denominado **celoma**. A partir dessas lâminas mesodérmicas surgem o sistema cardiovascular (coração e vasos sanguíneos), a musculatura lisa e o esqueleto dos membros, entre outras estruturas corporais. (Fig. 10.7)

O endoderma origina o revestimento interno do tubo digestivo, além das estruturas que se formam a partir dele: glândulas salivares, pâncreas, fígado e vesícula biliar. O endoderma também origina o revestimento das brânquias de peixes e anfíbios jovens, e o revestimento dos condutos respiratórios e dos pulmões em anfíbios, répteis, aves e mamíferos.

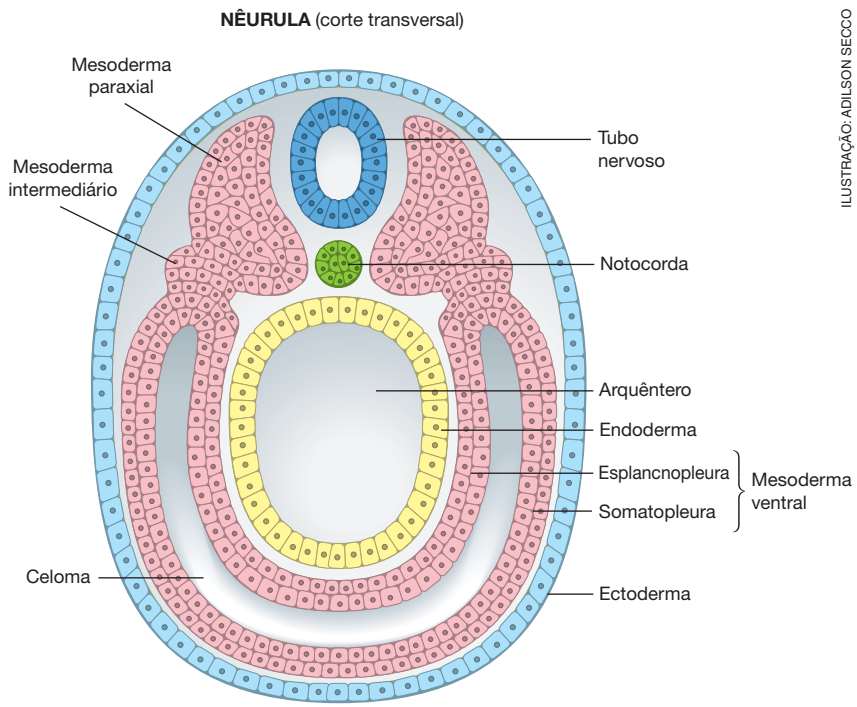


ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Figura 10.7 Representação esquemática de um embrião de cordado em estágio de nêurula. Note o celoma, a cavidade mesodérmica que surge nesse estágio. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Gilbert, S., 2006.)

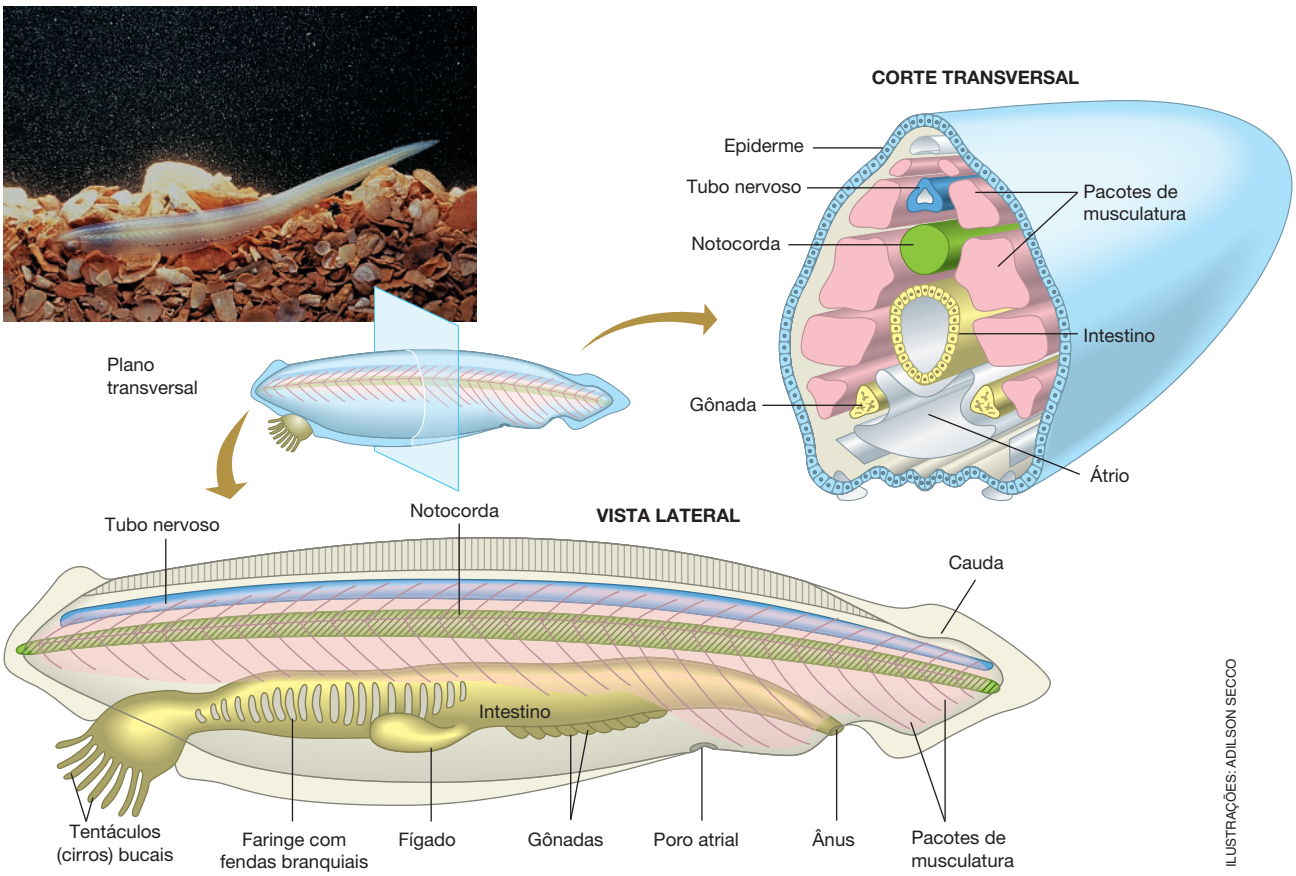
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Amplie seus conhecimentos

A embriologia do anfioxo como exemplo

O anfioxo lembra um peixinho de cerca de 5 cm de comprimento que não possui cabeça nem nadadeiras. Ele vive semienterrado em praias de areia no sublitoral raso, abaixo da linha das marés, sendo muito abundante no sul da China, onde é utilizado como alimento; também é encontrado em praias brasileiras. O anfioxo tem sido muito utilizado como modelo por cientistas e professores de Biologia pelo fato de seu corpo ser organizado de forma simples e "didática". A embriologia desse animal ajuda a compreender os passos fundamentais do desenvolvimento embrionário que resultam na organização típica do corpo de um cordado.

CLEVELAND HICKMAN/ VISUALS UNLIMITED/GLOW IMAGES



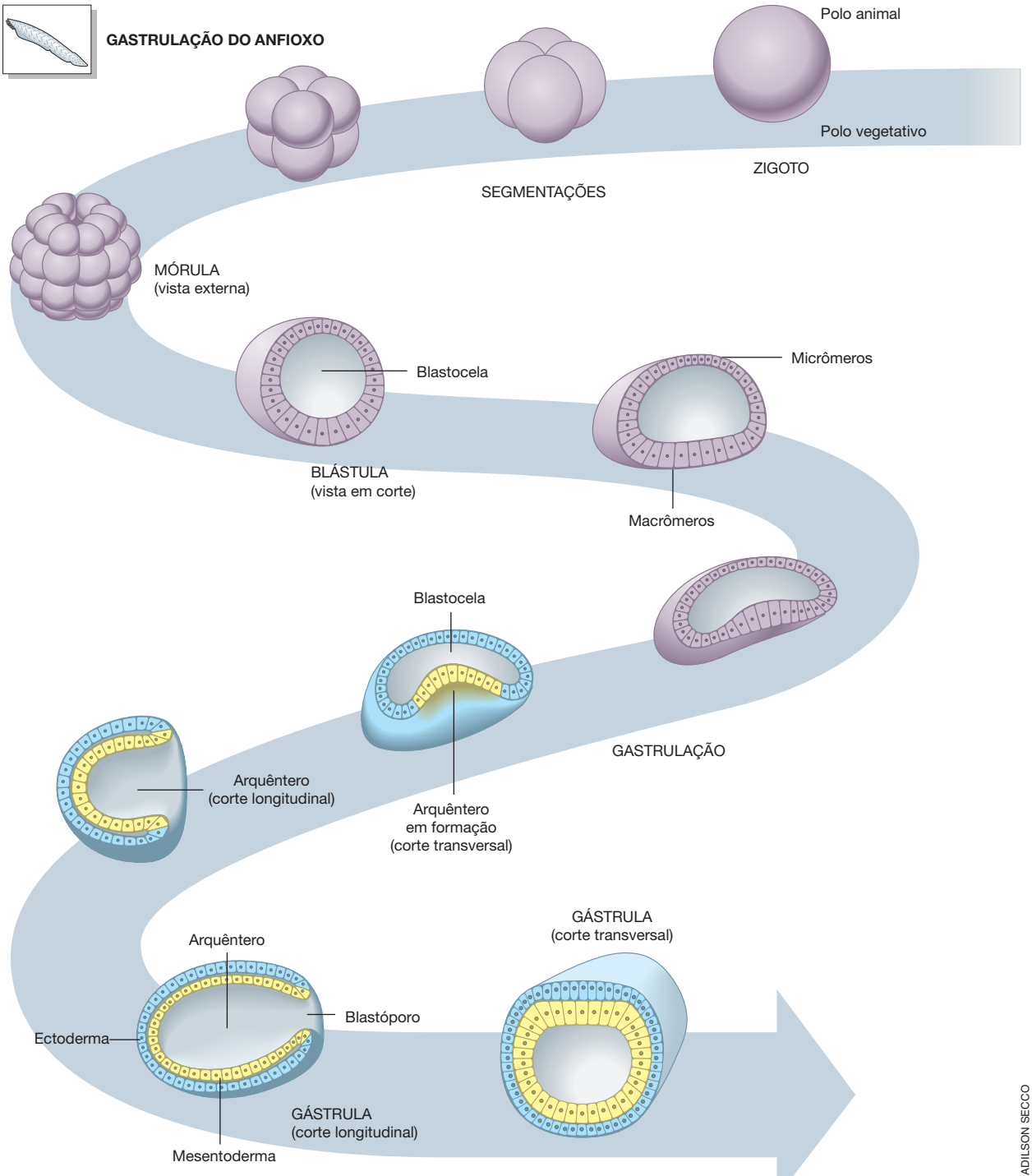
ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Em cima, fotografia do anfioxo, o *Branchiostoma lanceolatum*, que mede cerca de 5 cm de comprimento; note as extremidades do corpo afiladas e semelhantes entre si, daí a denominação "anfioxo" (do grego *amphi*, duas, e *oxus*, ponta, cauda). Ao lado da fotografia, esquema de corte transversal da parte mediana do corpo desse animal; abaixo, vista lateral mostrando alguns de seus órgãos internos por transparência. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborado com base em Sherman, I. e Sherman, V., 1970.)

No anfioxo, os sexos são separados e machos e fêmeas eliminam gametas na água do mar, na qual a fecundação ocorre (fecundação externa). O ovo é do tipo oligolécito e apresenta segmentação holoblástica e praticamente igual. No estágio de oito blastômeros, há no polo animal quatro micrômeros ligeiramente menores que os quatro macrômeros do polo vegetativo. A partir daí, as clivagens se sucedem em planos perpendicularmente alternados.

Na gastrulação do anfioxo, as células da região correspondente ao polo vegetativo são empurradas para dentro, espremendo a blastocela. A gástrula ligeiramente alongada tem inicialmente duas camadas celulares, uma mais externa, o ectoderma, e outra mais interna, que alguns autores denominam mesentoderma, para ressaltar o fato de que ela originará, em seguida, o endoderma e o mesoderma. A cavidade revestida pelo mesentoderma é o arquêntero, e o orifício que o comunica com o exterior é o blastóporo.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

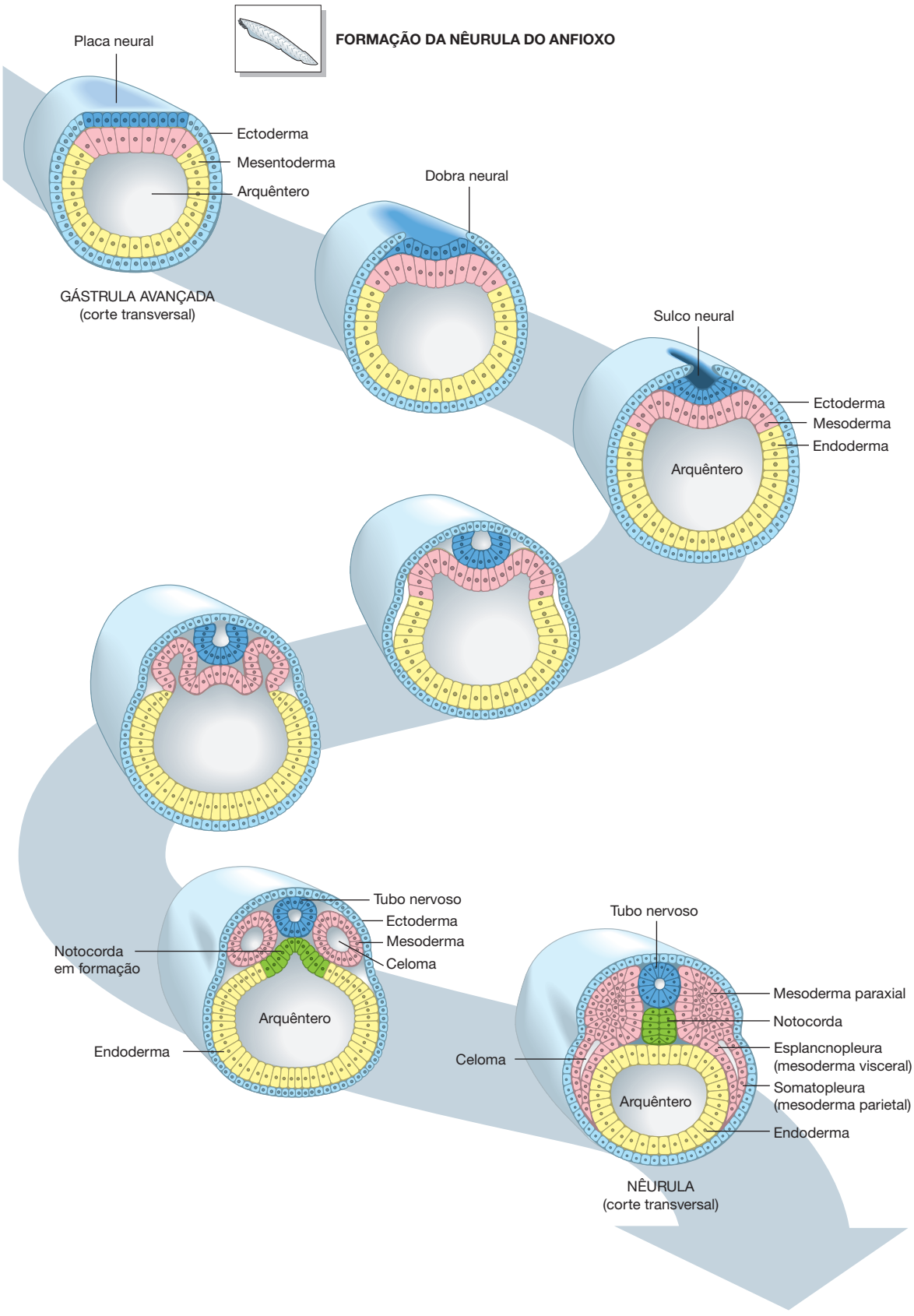


Representação esquemática da sequência de estágios iniciais do desenvolvimento embrionário do anfioxo: mórula, blástula e gástrula. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Huettner, A., 1949.)

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Na fase de nêurula, o ectoderma situado ao longo da região dorsal forma o tubo nervoso. O mesentoderma da região dorsal do arquêntero origina a notocorda, bem como os mesodermas paraxial (dividido em somitos), intermediário e ventral, no qual se forma a cavidade celômica. A epiderme do anfioxo adulto é proveniente do ectoderma que revestia o embrião e seu sistema nervoso deriva do tubo nervoso, também de origem ectodérmica. O intestino com suas glândulas (fígado, por exemplo) e as brânquias derivam do endoderma. Toda a musculatura e órgãos internos provêm do mesoderma.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Representação esquemática dos estágios de desenvolvimento que levam à formação da nêurula no anfioxo. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Huettner, A., 1949.)

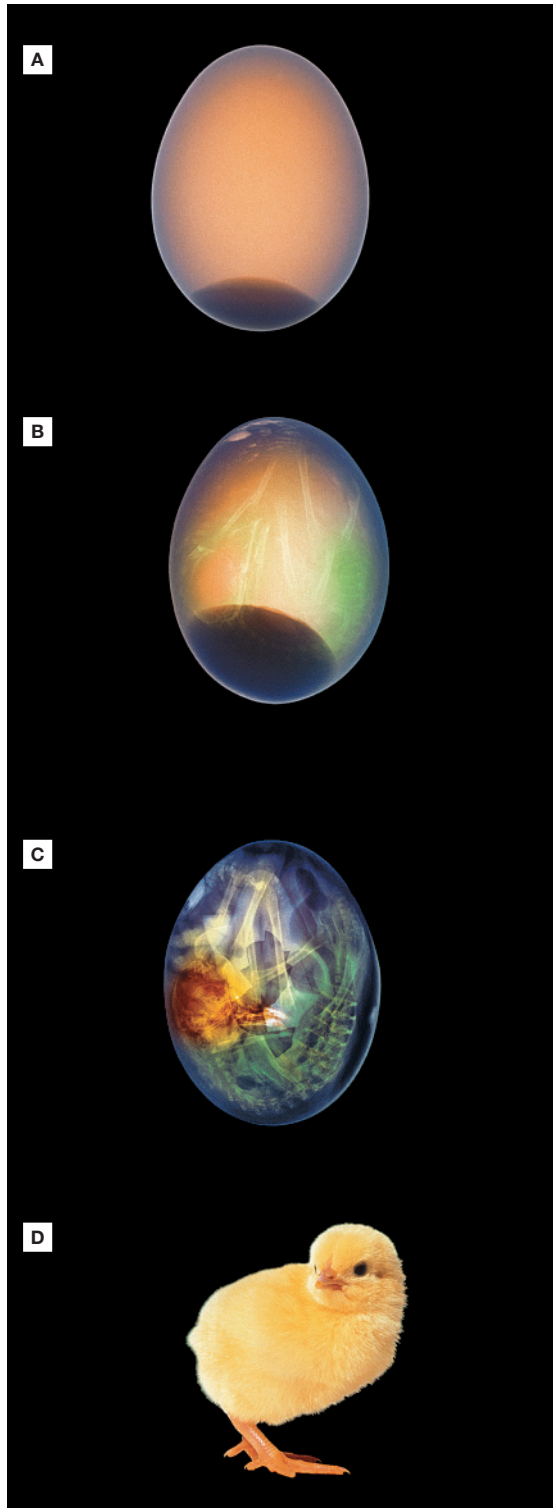
10.4 Anexos embrionários

As células de um embrião têm as mesmas necessidades básicas de qualquer célula: precisam obter alimento e gás oxigênio para manter o metabolismo; têm de eliminar resíduos e substâncias de excreção formados nas atividades metabólicas. De que maneira as células embrionárias conseguem suprir essas necessidades?

Como vimos, as substâncias nutritivas utilizadas por embriões de muitas espécies animais provêm do vitelo. Um ovo mesolécito de rã, por exemplo, tem vitelo suficiente para nutrir o embrião por alguns dias, até a fase em que o girino começa a se alimentar; um ovo de galinha tem substâncias nutritivas suficientes para os 21 dias de desenvolvimento embrionário, até a eclosão do pintinho (fig. 10.8). Em algumas espécies, incluindo a nossa, os ovos têm pouquíssimo vitelo acumulado. Surge, então, uma questão a ser respondida mais adiante: como se alimentam as células de um embrião de mamífero durante o período de desenvolvimento embrionário, que é geralmente longo?

Primeiramente, vamos analisar de que maneira os embriões obtêm gás oxigênio para respirar e como se livram do gás carbônico que surge como subproduto da respiração. O embrião de rã, que completa seu desenvolvimento na água, utiliza-se da difusão para realizar todas as trocas gasosas necessárias à sua vida. Um embrião de ave, que se desenvolve no ambiente seco em um ovo com casca, enfrenta uma situação diferente. Será que ocorre difusão de gases do ar através da casca do ovo? E um embrião de mamífero, cujo desenvolvimento ocorre no útero materno, como respira? Essas questões também serão respondidas mais adiante.

Um último ponto a considerar é o que fazer com as excreções produzidas pelas células embrionárias. O embrião de rã, para eliminar suas excreções nitrogenadas, não tem muitos problemas: as substâncias a serem excretadas saem das células embrionárias para a água circundante por difusão. Mas o processo de excreção é bem diferente para um embrião de ave ou de réptil, que completa o desenvolvimento "lacrado" em um ovo com casca, que se desenvolve em terra firme. Como aves e répteis mantêm as excreções potencialmente tóxicas longe do embrião, se ele se encontra confinado no ovo? As respostas a todas essas questões envolvem os chamados anexos embrionários.



GUSTOIMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 10.8 Radiografias colorizadas artificialmente de ovo de galinha em desenvolvimento (**A**, **B** e **C**) e fotografia de um pinto recém-nascido (**D**). **A.** Ovo com 6 dias de incubação. **B.** Ovo com 12 dias de incubação, mostrando o início da formação dos ossos. **C.** Ovo com 18 dias de incubação, faltando 3 dias para o nascimento.

O mais importante neste tópico é que os estudantes percebam que os anexos embrionários são estruturas adaptativas que apareceram nos ancestrais dos répteis na transição evolutiva para o ambiente terrestre. Ressalte o fato de que nós também apresentamos tais estruturas, o que é mais uma evidência de nosso parentesco evolutivo com os répteis, apesar de nosso desenvolvimento ocorrer no interior do útero materno.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

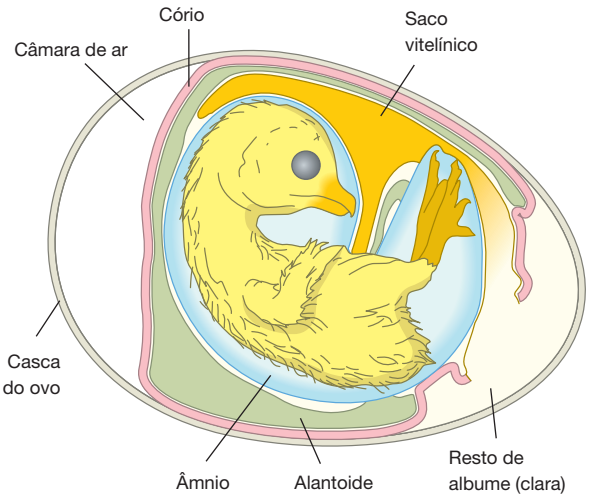


Figura 10.9 Representação esquemática de um embrião de galinha com 13 dias de incubação (a 8 dias do nascimento), mostrando a localização dos anexos embrionários. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Em répteis, aves e mamíferos, paralelamente ao desenvolvimento dos tecidos e órgãos, formam-se estruturas externas ao embrião denominadas **anexos embrionários**, encarregadas de obter nutrientes, armazenar excreções, manter um ambiente aquoso e protegido para o embrião e realizar trocas gasosas. Os anexos embrionários são o saco vitelínico, o alantoide, o âmnio e o cório. (Fig. 10.9)

Finalmente, uma última pergunta, entre tantas: por que os anexos embrionários estão presentes apenas em répteis, aves e mamíferos, essencialmente animais de terra firme? A resposta está no passado, quando ancestrais dos répteis estavam conquistando os ambientes de terra firme, há mais de 360 milhões de anos. Antes disso, não havia animais vertebrados nesses ambientes.

Entre as diversas adaptações dos ancestrais dos répteis ao ambiente de terra firme, uma das mais importantes foi o desenvolvimento de um ovo dotado de casca impermeável à dessecação. Entretanto, tal desenvolvimento exigiu novas adaptações, entre elas o surgimento e a evolução dos anexos embrionários.

Saco vitelínico

O **saco vitelínico** surge pelo crescimento conjunto do endoderma e da esplancnopleura (mesoderma) sobre o vitelo. Trata-se de uma bolsa membranosa que envolve completamente a massa vitelínica. Assim, o embrião passa a ter o saco de vitelo estrategicamente ligado ao seu futuro intestino.

A parte mesodérmica do saco vitelínico desenvolve vasos sanguíneos e torna-se ricamente vascularizada. Enzimas produzidas por células endodérmicas digerem os grãos de vitelo, cujos nutrientes passam para os vasos sanguíneos e são distribuídos para todas as células do embrião.

Alantoide

O **alantoide** é uma projeção da parede do arquêntero, formada pelo crescimento conjunto do endoderma e da esplancnopleura. Esse anexo embrionário tem, portanto, a mesma constituição do saco vitelínico. A principal função do alantoide é armazenar substâncias ricas em nitrogênio excretadas pelos rins do embrião, basicamente o ácido úrico.

Excretar ácido úrico, uma substância pouco solúvel em água, é uma adaptação de aves e de répteis. Como as excreções acumuladas no alantoide não se difundem pelo ovo, o embrião não corre o risco de se intoxicar durante o desenvolvimento.

Outra função do alantoide é participar da respiração do embrião, em parceria com outro anexo embrionário, o cório, como veremos a seguir.

Âmnio

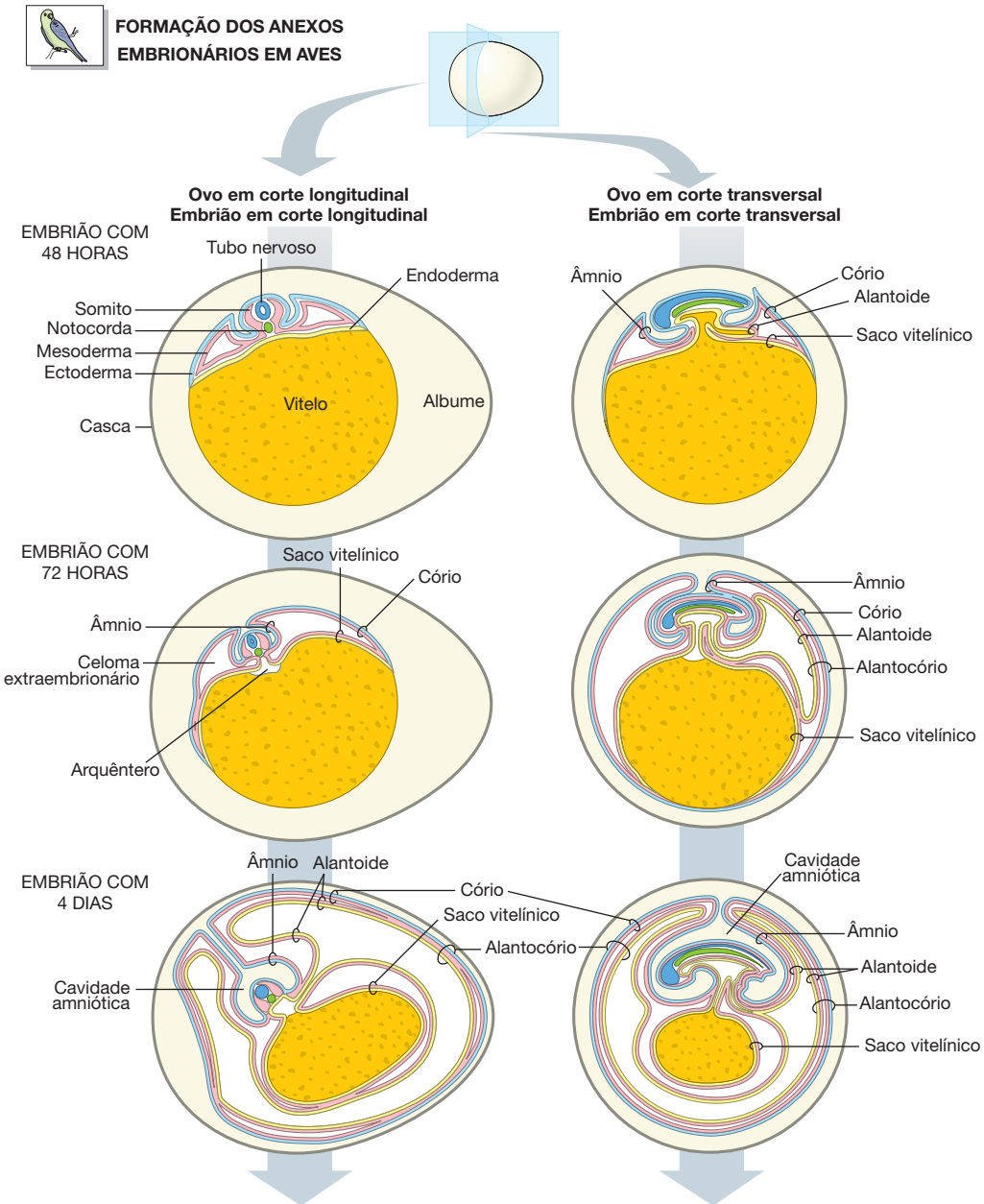
O **âmnio** é formado pelo crescimento conjunto do ectoderma e da somatopleura (mesoderma) ao redor do embrião, constituindo uma bolsa membranosa que o envolve totalmente: a **bolsa amniótica**. Esta é repleta de líquido e tem a função de manter o embrião em um ambiente aquoso, prevenindo a dessecação e amortecendo eventuais choques mecânicos.

Cório

O **cório** é formado pelo crescimento conjunto da somatopleura e do ectoderma, constituindo uma membrana que envolve todos os outros anexos embrionários, incluindo a bolsa amniótica que contém o embrião.

Nos ovos de répteis e de aves, o cório se desenvolve bem embaixo da casca. O alantoide também se desenvolve e sua face externa encosta-se no cório, junto à casca. O conjunto formado pela associação entre o cório e o alantoide, denominado **alantocório**, ou corioalantoide, é ricamente vascularizado, o que permite uma eficiente troca de gases entre os tecidos embrionários e o ar ao redor da casca. (Fig. 10.10)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Figura 10.10 Representação esquemática do desenvolvimento dos anexos embrionários em galinha. À esquerda, três estágios do desenvolvimento de um ovo em corte longitudinal; o embrião aparece cortado transversalmente. À direita, estágios correspondentes do ovo em corte transversal; o embrião aparece cortado longitudinalmente. Analise a figura acompanhando as explicações no texto. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Houillon, C., 1972.)

Como se explica a presença de anexos embrionários em mamíferos?

Na maioria dos mamíferos, os embriões se desenvolvem no interior do útero materno. Nesses animais, o embrião e a mãe desenvolvem, em conjunto, uma estrutura denominada **placenta**, pela qual estabelecem o intercâmbio de nutrientes, gases e excreções.

Entretanto, embriões dos mamíferos placentários também apresentam os mesmos anexos embrionários que répteis e aves – saco vitelínico, alantoide, âmnio e cório –, embora sua função original tenha sido substituída pela placenta.

A presença dos anexos embrionários nos mamíferos placentários pode ser explicada como um "resquício" evolutivo do grupo: os mamíferos evoluíram a partir de um grupo antigo de répteis. Mesmo com a evolução da placenta, os anexos embrionários persistiram como uma herança de nossa ancestralidade reptiliana.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

1. O conjunto de transformações que vão desde a fase de zigoto até a formação de um jovem animal é denominado 1. b

a) blastulação.
b) embriogênese.
c) gastrulação.
d) neurulação.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases 2 e 3.

a) blástula
b) gástrula
c) mórula
d) nêurula

2. O desenvolvimento embrionário inicia-se com uma série de divisões rápidas do zigoto, o que leva à formação de uma bola maciça de células chamada (▬). 2. c

3. O estágio do desenvolvimento embrionário dos vertebrados em que se formam os somitos é a (▬). 3. d

4. Quais estruturas apresenta um embrião de vertebrado em fase de nêurula, do dorso para o ventre? 4. b

a) tubo nervoso, arquêntero e notocorda.
b) tubo nervoso, notocorda e arquêntero.
c) notocorda, tubo nervoso e arquêntero.
d) notocorda, arquêntero e tubo nervoso.

5. "Em determinado momento do desenvolvimento, ocorre remodelação total do embrião, com intensa migração de células e formação dos três folhetos germinativos." 5. b

O processo descreve qual estágio de desenvolvimento embrionário?

a) Blástula.
b) Gástrula.
c) Mórula.
d) Nêurula.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 6 a 10.

a) alantocório
b) alantoide
c) âmnio
d) cório
e) saco vitelínico

6. O anexo embrionário denominado (▬) é responsável pelo armazenamento de ácido úrico em répteis e aves. 6. b

7. O (▬) mantém um ambiente aquoso em torno do embrião, protegendo-o da dessecação e de choques mecânicos. 7. c

8. Formado pela justaposição de dois anexos embrionários, o (▬) é responsável pelas trocas respiratórias entre o embrião e o ar circundante. 8. a

9. Um dos primeiros anexos embrionários a se formar, o (▬) tem a função de mobilizar as substâncias nutritivas do vitelo para o embrião. 9. e

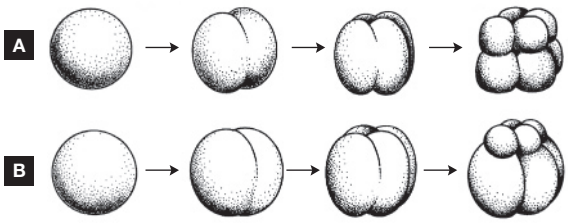
10. O (▬), além de envolver e proteger todos os anexos embrionários e o embrião, participa, com outro anexo, nos processos de trocas gasosas para a respiração. 10. d

Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

11. As sequências de figuras abaixo representam estágios do desenvolvimento inicial de anfioxo (A) e de anfíbio (B).

OSVALDO SEQUETIN

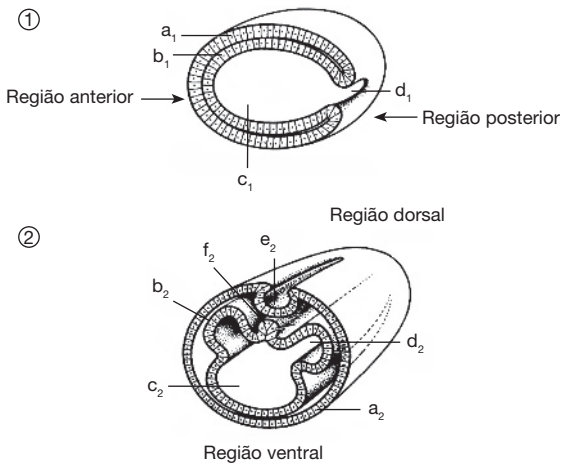


(Esquemas simplificados.)

Em que diferem os processos que ocorrem em A e B? Como se explica a diferença?

12. Os esquemas a seguir representam dois momentos da embriogênese do anfioxo (1 em corte longitudinal e 2 em corte transversal).

OSVALDO SEQUETIN



(Elementos fora de proporção de tamanho entre si.)

Com relação ao esquema 1, responda:

a) Em que fase de desenvolvimento se encontra o embrião representado?
b) Qual é o nome das partes indicadas?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Com relação ao esquema 2, responda:

a) Que estágio de desenvolvimento está se iniciando?

b) Qual é o nome das partes indicadas?

c) Esse esquema mostra um embrião em que vários processos estão se iniciando. Utilizando o mesmo tipo de desenho, represente um corte transversal do embrião em um estágio mais avançado, no qual os processos iniciados em 2 estejam finalizados. Coloque legendas.

Faça você mesmo!

Registre em seu caderno

13. Construção de modelos: Trabalhando com modelos de embriões

O uso de argila ou massa de modelar para representar estágios do desenvolvimento embrionário certamente ajuda muito na compreensão desse complexo processo. Desenhos, por melhores que sejam, são representações bidimensionais e não conseguem transmitir todas as informações sobre a forma do embrião, que é tridimensional.

Forme um grupo com quatro ou cinco colegas e escolha o organismo e as fases do desenvolvimento embrionário que serão representados. Por exemplo, seu grupo poderia modelar o desenvolvimento do anfioxo a partir do estágio de zigoto até o de mórula. Outro grupo modelaria o mesmo período de desenvolvimento para um anfíbio; outro grupo, para uma ave; e outro, para um mamífero. Represente os embriões também em cortes transversais, de maneira a mostrar a organização dos folhetos germinativos. Para facilitar a visualização, faça cada folheto de uma cor diferente. Se possível, registre em fotografias ou vídeo a realização dos modelos. Depois de prontos, organize uma exposição na escola com os modelos construídos. As fotografias e os vídeos podem ser utilizados para enriquecer a exposição.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (Uerj) A partir de um ovo fertilizado de sapo, até a formação do girino, ocorre uma série de divisões celulares. A distribuição percentual dos tipos de divisão celular, nessa situação, é a seguinte: 1. a

a) 100% mitose.

b) 100% meiose.

c) 50% meiose – 50% mitose.

d) 75% mitose – 25% meiose.

2. (Ufla-MG) Qual é a alternativa **correta**? 2. d

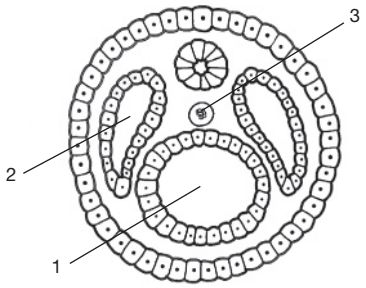
a) O arquêntero desenvolve-se em sistema respiratório.

b) O blastóporo dá origem à cavidade oral em mamíferos.

c) A formação do arquêntero caracteriza a fase de mórula do desenvolvimento embrionário.

d) O blastóporo é uma abertura que permite a comunicação do arquêntero com o ambiente externo.

3. (UFSCar-SP) Observe o corte de um embrião a seguir esquematizado. 3. d



OSVALDO SEQUETIN

(Elementos fora de proporção de tamanho entre si.)

Os algarismos 1, 2 e 3 representam, respectivamente,

a) o arquêntero, o celoma, o tubo neural.

b) o arquêntero, a mórula, o tubo neural.

c) a mórula, a blástula, a notocorda.

d) o arquêntero, o celoma, a notocorda.

e) o celoma, o arquêntero, a notocorda.

4. (UFRGS-RS) Os folhetos embrionários, através de processos de desenvolvimento e diferenciação, darão origem a diferentes estruturas nos indivíduos adultos. Considere as afirmações abaixo relacionadas ao desenvolvimento embriológico. 4. b

I. A ectoderme origina a medula espinal.

II. A mesoderme origina o tecido muscular e ósseo.

III. A endoderme origina o tecido urogenital.

Quais estão corretas?

a) Apenas I.

b) Apenas I e II.

c) Apenas I e III.

d) Apenas II e III.

e) I, II e III.

5. (Unifal-MG) Durante o desenvolvimento embrionário dos vertebrados, o conjunto de células que se diferenciam dos blastômeros forma os folhetos germinativos e, posteriormente, as diversas células do corpo. Com relação a esse processo, analise as afirmativas a seguir. 5. e

I. O mesoderma origina as fibras musculares.

II. O ectoderma origina as células nervosas.

III. O endoderma origina as células do epitélio intestinal.

É correto o que se afirma em

a) I e II apenas.

b) II e III apenas.

c) I e III apenas.

d) I apenas.

e) I, II, e III.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

6. (UFPR) Fase do desenvolvimento embrionário caracterizada pelo estabelecimento dos três folhetos germinativos (ectoderma, mesoderma e endoderma) e por intensos movimentos morfogenéticos: 6. a

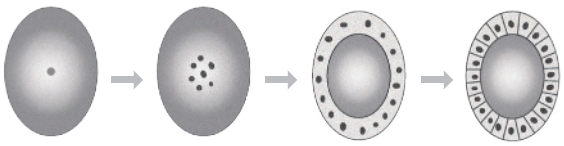
a) Gastrulação.
b) Clivagem.
c) Morfogênese.
d) Fecundação.
e) Apoptose.

7. (UEMS) Nos vertebrados, ao longo do desenvolvimento embrionário, a notocorda é substituída 7. b

a) pelo cordão nervoso.
b) pela coluna vertebral.
c) pelo tubo neural.
d) pelo tubo digestivo.
e) pela placa dorsal.

8. (UEPB) Observe o esquema abaixo que representa um tipo de segmentação de ovos de animais. A alternativa que contém as informações corretas quanto ao tipo de ovo, tipo de segmentação e exemplo de ser vivo em que ocorre é: 8. c

ADILSON SECCO



(Elementos fora de proporção de tamanho entre si.)

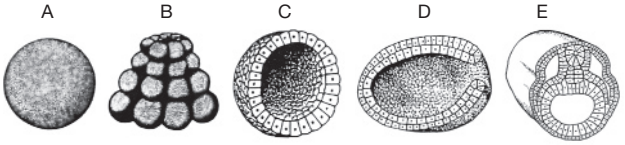
a) Ovo isolécito, segmentação holoblástica igual, ocorre em mamíferos.
b) Ovo telolécito, segmentação meroblástica discoidal, ocorre em anfíbios.
c) Ovo centrolécito, segmentação meroblástica superficial, ocorre em insetos.
d) Ovo centrolécito, segmentação meroblástica discoidal, ocorre em répteis e aves.
e) Ovo heterolécito, segmentação holoblástica desigual, ocorre em anfíbios.

9. (UFPI) Com relação aos aspectos da embriologia animal, as alternativas corretas são: 9. a, c, d

a) A segmentação é uma fase do desenvolvimento embrionário que vai desde a primeira divisão do zigoto até a formação de um aglomerado de células com uma cavidade interna: a blástula.
b) Os ovos telolécitos, também chamados de oligolécitos, apresentam uma quantidade relativamente pequena de vitelo, distribuída de forma mais ou menos homogênea no citoplasma.
c) O endoderma dá origem ao revestimento interno do tubo digestório, além de estruturas que se formam a partir dele, como glândulas salivares, pâncreas, fígado e vesícula biliar.
d) Na fase embrionária da classe Mammalia, à medida que o desenvolvimento progride, o embrião é gradativamente envolvido pela bolsa amniótica, que o mantém hidratado e protegido de eventuais choques mecânicos.

Questões discursivas

10. (Unicamp-SP) As fases iniciais do desenvolvimento embrionário do anfioxo estão representadas nas figuras abaixo.



OSVALDO SEQUETIN

(Elementos fora de proporção de tamanho entre si.)

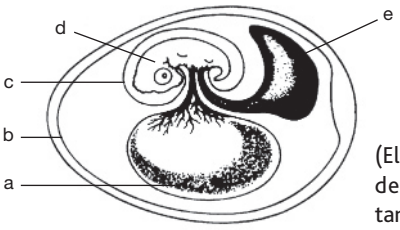
a) Identifique essas fases.
b) Descreva as diferenças de cada uma delas em relação à fase anterior.

11. (UFSCar-SP)

> As mais versáteis são as células-tronco embrionárias (TE) isoladas pela primeira vez em camundongos, há mais de 20 anos. As células TE vêm da região de um embrião muito jovem que, no desenvolvimento normal, forma as três camadas germinativas distintas de um embrião mais maduro e, em última análise, todos os diferentes tecidos do corpo.
>
> *Scientific American Brasil*, jul. 2004.

a) Quais são as três camadas germinativas a que o texto se refere?
b) Ossos, encéfalo e pulmão têm, respectivamente, origem em quais dessas camadas germinativas?

12. (Unicamp-SP) Os primeiros vertebrados a ocupar o ambiente terrestre foram os anfíbios, que, porém, ainda necessitam retornar à água para a reprodução. A independência da água foi conseguida posteriormente através de novidades evolutivas, como as relacionadas ao ovo.



OSVALDO SEQUETIN

(Elementos fora de proporção de tamanho entre si.)

a) Indique as letras do esquema que correspondem às estruturas que aparecem só a partir desse tipo de ovo. Identifique as estruturas indicadas.
b) Cite outra adaptação reprodutiva para a vida animal em ambiente terrestre.

13. (Fuvest-SP)

a) Qual a função desempenhada pelo âmnio no desenvolvimento embrionário?
b) Quais os grupos de vertebrados que apresentam essa estrutura?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 11

Reprodução humana

ISM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Embrião humano de aproximadamente 7 semanas de idade, medindo cerca de 2 cm de comprimento.

Bebês de proveta e clonagem humana

Londres, 25 de julho de 1978: nasce Louise Joy Brown, o primeiro bebê de proveta da história da humanidade.

Leslie Brown, mãe de Louise, tinha as tubas uterinas obstruídas e não conseguia engravidar. Em um procedimento até então inédito, os ginecologistas Patrick Steptoe (1913-1988) e Robert Edwards (1925-2013) aplicaram injeções de hormônios em Leslie, o que induziu o amadurecimento de óvulos em seus ovários e preparou o útero para a gravidez. Em seguida, os médicos retiraram cirurgicamente alguns gametas dos ovários de Leslie, passando-os para um frasco com meio nutritivo; aí eles foram fecundados por espermatozoides do marido, John Brown, originando zigotos que começaram a se desenvolver em embriões. Com seis dias de vida, alguns embriões foram implantados no útero de Leslie Brown, onde um deles se desenvolveu e gerou Louise.

O sucesso na concepção de Louise levou milhares de mulheres com problemas de infertilidade a implantar em seus úteros embriões concebidos *in vitro*, isto é, em frascos de laboratório.

Atualmente, a fertilização *in vitro* é cada vez mais utilizada, porém ainda desperta polêmicas. Em cada tratamento, geralmente são fecundados entre 10 e 15 óvulos, a maioria dos quais se desenvolve e origina embriões. Alguns dias depois, até quatro embriões selecionados são implantados no útero da mulher, uma vez que a chance de sucesso nessa etapa é da ordem de 25%. Os demais embriões são congelados em nitrogênio líquido, a uma temperatura de quase 196 °C negativos, podendo eventualmente ser utilizados se a primeira implantação não for bem-sucedida ou se o casal desejar outros filhos mais tarde.

O que fazer com os embriões congelados? Guardá-los indefinidamente? Descartá-los? Esta última hipótese poderia ser considerada um aborto? Seria ético doar ou vender os embriões para outras pessoas? Ou mesmo utilizá-los em pesquisas científicas que visam à obtenção de células-tronco? Essas são apenas algumas das questões que surgem quando o assunto é reprodução humana.

As polêmicas aumentaram ainda mais com o sucesso da clonagem da ovelha Dolly, originada a partir de uma única célula de uma ovelha adulta. Abriu-se, assim, a possibilidade de se fazer o mesmo com seres humanos. Teoricamente, uma pessoa poderia contratar os serviços de uma mulher que doasse óvulos, cujos núcleos seriam eliminados; um desses gametas anucleados receberia o núcleo (e os genes) da pessoa "contratante", formando-se o zigoto. O embrião resultante desse zigoto, implantado no útero de uma "mãe de aluguel" ou da própria doadora dos óvulos, originaria uma criança geneticamente idêntica à pessoa que doou o núcleo – seu próprio clone.

A principal crítica à clonagem humana é que a pessoa clonada seria privada do direito de possuir uma identidade genética única e original, por ter seu genoma deliberadamente escolhido por alguém. Alguns temem também a possibilidade de clonar um número ilimitado de determinadas pessoas, criando assim "exércitos" de operários, soldados, artistas, professores etc. Pensa-se, ainda, em usar a clonagem para produzir tecidos e órgãos humanos em laboratório, o que supriria a enorme necessidade de órgãos para transplantes.

A ciência e a tecnologia abrem possibilidades práticas antes inimagináveis. Com isso, é preciso repensar antigos valores éticos e morais. E você, o que acha de tudo isso? As discussões prosseguem e ninguém pode ficar fora delas.

A importância do assunto

Neste capítulo apresentamos os aspectos básicos da reprodução humana. O conhecimento científico sobre o tema tem levado as pessoas a ter mais consciência de sua própria reprodução. Além do método natural de controle, que requer apenas o conhecimento do ciclo reprodutivo (e muita disciplina, é claro!), há diversos métodos anticoncepcionais eficazes, como a pílula, a camisinha, o diafragma, o DIU (dispositivo intrauterino), entre outros. Em uma sociedade democrática, espera-se que cada um possa escolher livremente a utilização ou não de métodos anticoncepcionais, de acordo com seus valores e crenças.

Graças aos conhecimentos sobre a reprodução humana, muitos casais também podem solucionar dificuldades biológicas para ter filhos. Os tratamentos variam desde injeções de hormônios e correção cirúrgica de órgãos genitais até a fertilização *in vitro* e a implantação dos embriões no útero materno.

O conhecimento dos fundamentos da reprodução humana é um exercício de cidadania, não apenas por possibilitar a cada pessoa o controle da própria reprodução, mas também por levar a reflexões mais aprofundadas sobre o crescimento populacional humano, em um mundo já tão intensamente povoado.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

11.1 Sistema genital feminino

O **sistema genital feminino** compõe-se de órgãos situados externamente ao corpo da mulher (pudendo feminino ou vulva) e de órgãos localizados no interior do abdome (vagina, útero, um par de tubas uterinas e um par de ovários).

Pudendo feminino

O **pudendo feminino**, ou **vulva**, localiza-se na região baixa do ventre, entre as coxas, sendo constituído pelos lábios maiores, lábios menores, clitóris e vestíbulo vaginal.

Os **lábios maiores** são duas saliências que se estendem paralelamente da região inferior do púbis até as proximidades do ânus. Mais internamente, há um par de **lábios menores**, que delimitam a entrada da vagina, região denominada **vestíbulo vaginal**.

Na região vulvar anterior, perto da junção entre os lábios menores, localiza-se o **clitóris**, órgão com cerca de 1 cm de comprimento dotado de grande sensibilidade tátil. Ele é constituído por tecido erétil: durante a excitação sexual, recebe grande afluxo de sangue e fica intumescido.

O clitóris origina-se da mesma estrutura embrionária que o pênis (são órgãos homólogos), mas, diferentemente deste, o clitóris não é percorrido pela uretra; a uretra feminina abre-se em uma pequena fenda no vestíbulo vaginal, entre o clitóris e a abertura da vagina.

No vestíbulo vaginal desembocam condutos provenientes de um par de glândulas vestibulares maiores (ou glândulas de Bartholin), produtoras de uma secreção lubrificante que facilita a penetração do pênis durante o ato sexual. Na maioria das mulheres virgens, a entrada da vagina é parcialmente recoberta por uma membrana denominada **hímen**, que geralmente se rompe no primeiro ato sexual. (Fig. 11.1)

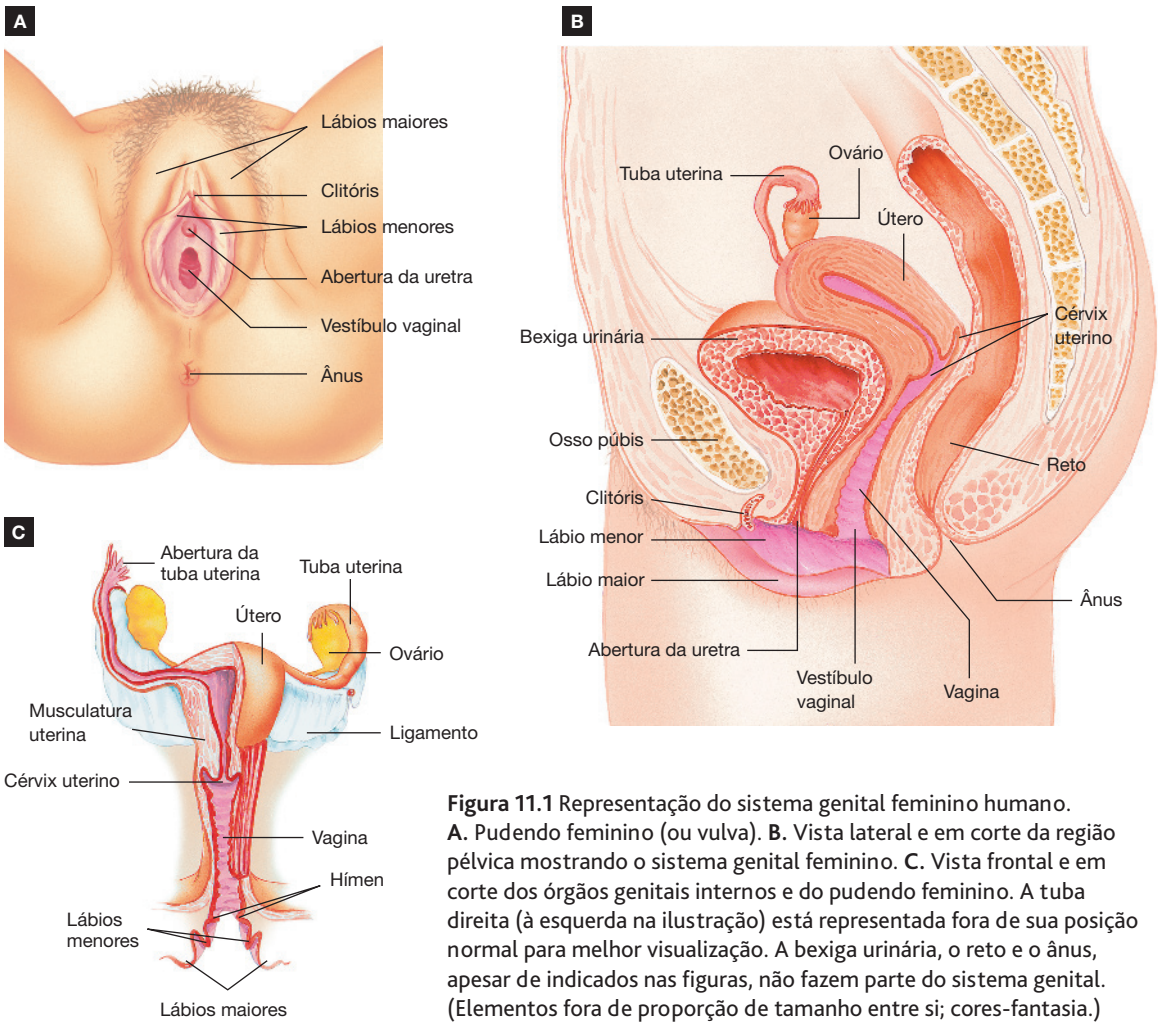


Figura 11.1 Representação do sistema genital feminino humano. **A.** Pudendo feminino (ou vulva). **B.** Vista lateral e em corte da região pélvica mostrando o sistema genital feminino. **C.** Vista frontal e em corte dos órgãos genitais internos e do pudendo feminino. A tuba direita (à esquerda na ilustração) está representada fora de sua posição normal para melhor visualização. A bexiga urinária, o reto e o ânus, apesar de indicados nas figuras, não fazem parte do sistema genital. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Vagina e útero

A **vagina** é um tubo de paredes fibromusculares, com cerca de 10 cm de comprimento, que vai do vestíbulo vaginal à base do útero, com o qual se comunica. Durante a excitação sexual, as paredes da vagina se dilatam e as glândulas vestibulares secretam substâncias lubrificantes que facilitam a penetração do pênis.

O **útero** é um órgão muscular oco, de tamanho e forma parecidos com os de uma pera. Em mulheres que nunca engravidaram, ele mede cerca de 7,5 cm de comprimento por 5 cm de largura. A porção superior do útero, mais arredondada, conecta-se às tubas uterinas. A porção inferior, mais afilada, denominada colo uterino, projeta-se para o interior da vagina, comunicando-se com ela por meio de uma pequena abertura com menos de 0,5 mm de diâmetro. Durante o parto, essa abertura se alarga, permitindo a saída do bebê.

A parede do útero, com cerca de 2,5 cm de espessura, é constituída por músculos e capaz de grande dilatação durante a gravidez. Internamente, o útero é revestido pelo **endométrio**, um tecido rico em glândulas, vasos sanguíneos e vasos linfáticos.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Tubas uterinas e ovários

As **tubas uterinas**, ou **ovidutos**, são dois tubos curvos, com cerca de 10 cm de comprimento, ligados à parte superior do útero. A extremidade livre de cada tuba uterina é alargada e franjada e situa-se próximo de um dos ovários. O interior das tubas é revestido por células dotadas de cílios, cujos batimentos contribuem para o deslocamento do gameta liberado pelo ovário em direção ao útero.

Os **ovários** são duas estruturas ovoides com cerca de 3 cm de comprimento, localizados na cavidade abdominal, na região da virilha. Na porção ovariana mais externa, chamada córtex ovariano, localizam-se as células que originam os gametas femininos.

O processo de formação dos gametas femininos – a **ovulogênese** – inicia-se antes do nascimento da mulher, em torno do terceiro mês de sua vida intrauterina. As células diploides precursoras dos óvulos, as **ovogônias**, param de se multiplicar, crescem e iniciam a meiose, passando a ser chamadas **ovócitos primários** (ou ovócitos I). A meiose é interrompida ainda na prófase I. Os ovócitos primários permanecem estacionados nessa fase da meiose até serem ativados por um hormônio produzido pela parte anterior da glândula hipófise (adenoipófise), o FSH (em português, hormônio estimulante do folículo).

Cada ovócito primário está envolto por algumas camadas de células especializadas (células foliculares), constituindo um **folículo ovariano**. Ao nascer, a mulher tem cerca de 500 mil folículos em cada ovário; mais da metade, porém, degenera antes da adolescência.

A partir da puberdade, aproximadamente a cada 28 dias, a adenoipófise aumenta a liberação do hormônio FSH, o que estimula o desenvolvimento de alguns folículos. No entanto, geralmente apenas um deles amadurece. O folículo em amadurecimento acumula líquido e cresce, formando uma saliência na superfície do ovário. O ovócito primário conclui a primeira divisão da meiose e origina um **ovócito secundário** (ou ovócito II) e um glóbulo polar (primeiro glóbulo polar ou glóbulo polar I), praticamente sem citoplasma, que logo degenera (relembre no capítulo 9).

O ovócito secundário prossegue a segunda divisão meiótica até a metáfase II, quando o folículo se rompe e libera o ovócito, fenômeno denominado **ovulação**. A célula sexual feminina liberada na ovulação humana, assim como nos demais mamíferos, é um ovócito secundário estacionado em metáfase II da meiose e que somente completará a divisão se houver fecundação. Essa célula é considerada o óvulo dos mamíferos, apesar de a meiose ainda não haver se completado; caso seja fecundada por um espermatozoide, forma-se o segundo glóbulo polar e, em seguida, surge o zigoto. Se a fecundação não ocorre dentro de aproximadamente 24 horas após a ovulação, o óvulo degenera sem terminar a meiose.

No ovário, as células do folículo rompido na ovulação desenvolvem-se, originando o **corpo-amarelo** ou **corpo-lúteo**, uma "cicatriz" amarelada no ovário devido ao acúmulo de carotenoides pelas células foliculares.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

11.2 Sistema genital masculino

O **sistema genital masculino** compõe-se de órgãos externos, o pênis e a bolsa escrotal ou escroto, na qual ficam alojados os testículos, e de órgãos internos, entre os quais se destacam os ductos deferentes, as glândulas seminais e a próstata.

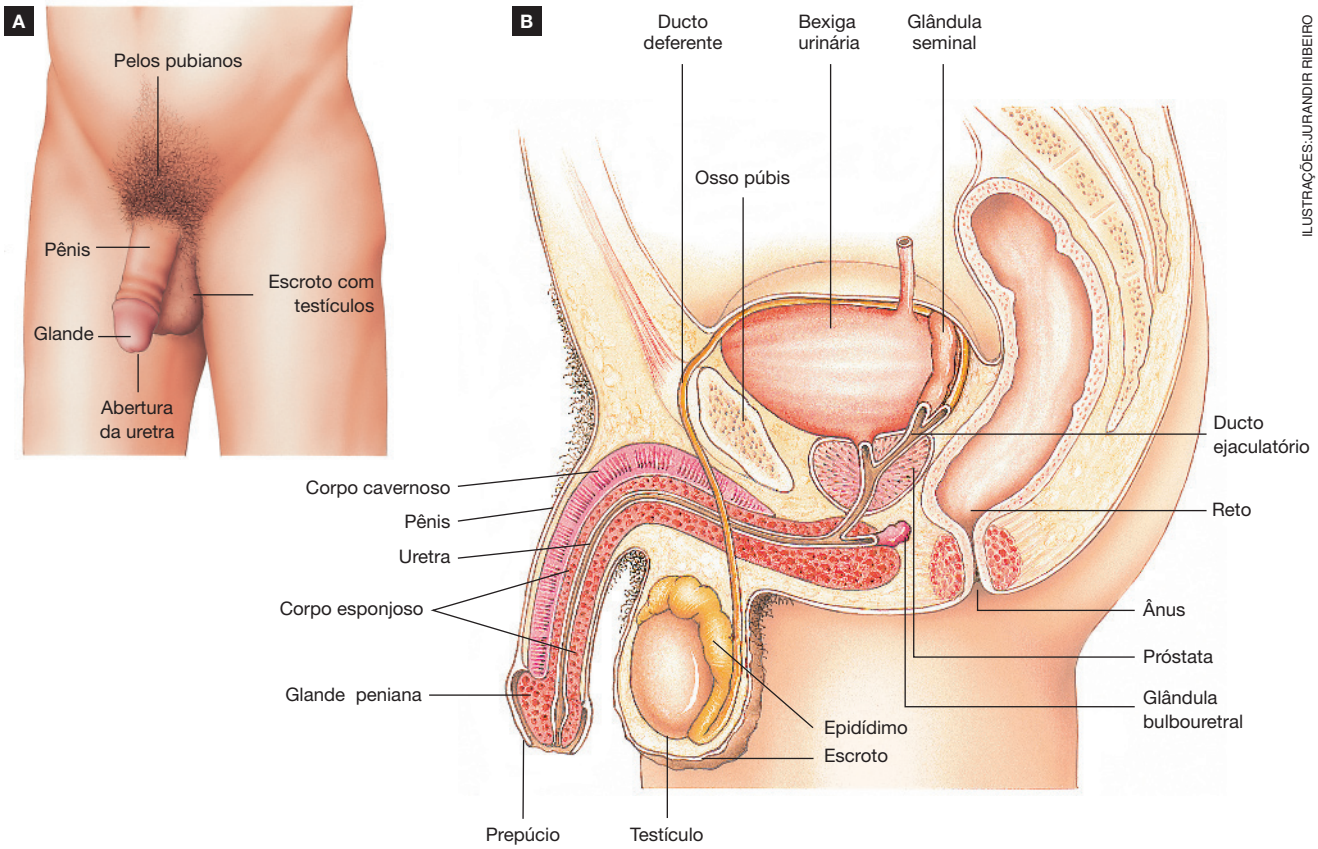
Pênis, escroto e testículos

O **pênis** é o órgão copulador masculino. Ao longo de seu comprimento, há três massas de tecido erétil, sendo dois corpos cavernosos laterais e um corpo esponjoso ao redor da uretra. Esses tecidos recebem grande afluxo de sangue durante a excitação sexual, intumescendo-se e levando à ereção do pênis, o que possibilita o ato sexual. Perto da extremidade do pênis, o corpo esponjoso expande-se e forma a **glande**, que apresenta grande sensibilidade tátil, sendo protegida por uma dobra de pele chamada **prepúcio**.

O pênis é percorrido longitudinalmente pela uretra, um canal que pertence tanto ao sistema urinário quanto ao sistema genital masculino, pelo qual são eliminados a urina e o esperma.

O **escroto**, ou bolsa escrotal, é uma bolsa musculocutânea situada entre as coxas, na base do pênis; em seu interior, alojam-se dois testículos, as gônadas masculinas.

Cada **testículo** é constituído por milhares de tubos finos e enovelados, os **túbulos seminíferos**, e envolto por diversas camadas de tecido conjuntivo. Nos túbulos seminíferos são produzidos os espermatozoides, os gametas masculinos. Entre os túbulos seminíferos, situam-se as células intersticiais, responsáveis pela produção de **testosterona**, o hormônio sexual masculino. (Fig. 11.2)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 11.2 Representação do sistema genital masculino humano. **A.** Vista externa. **B.** Vista lateral e em corte mostrando órgãos internos. A bexiga urinária, o reto e o ânus, apesar de indicados na figura, não fazem parte do sistema genital. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

O processo de formação dos gametas masculinos – a **espermatogênese** – inicia-se ainda na vida embrionária, mas se acentua e se completa a partir da puberdade. As células diploides precursoras dos espermatozoides, as **espermatogônias**, localizam-se nas paredes dos túbulos seminíferos e multiplicam-se durante praticamente toda a vida do homem, declinando apenas na velhice.

Enquanto a maioria das espermatogônias continua a se multiplicar por mitose, algumas crescem e iniciam a meiose, passando a ser chamadas **espermatócitos primários**. Ao fim da primeira divisão meiótica, as duas células que surgem são denominadas **espermatócitos secundários**. Ambos executam a segunda divisão meiótica, produzindo quatro **espermátides** haploides. Cada espermátide diferencia-se em um **espermatozoide** (relembre no capítulo 9).

Os espermatozoides recém-formados são transportados para o **epidídimo**, um tubo enovelado com cerca de 6 cm de comprimento, localizado sobre o testículo. Aí, eles completam seu amadurecimento e ficam armazenados até ser eliminados na ejaculação.

Ductos deferentes e glândulas acessórias

Dos epidídimos, os espermatozoides passam por dois tubos finos, com cerca de 45 cm de comprimento, os **ductos deferentes**. Estes sobem pelo abdome, contornam a bexiga urinária e unem-se no **ducto ejaculatório**, que desemboca na uretra.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Glândulas localizadas atrás da bexiga urinária, as **glândulas seminais** ou **vesículas seminais** produzem e eliminam sua secreção no ducto ejaculatório, no clímax da excitação sexual, o orgasmo. Essa secreção constitui a maior parte do volume do **esperma** ou **sêmen**, como é chamado o fluido formado por espermatozoides e líquidos nutritivos.

A **próstata**, localizada embaixo da bexiga urinária, é uma glândula com cerca de 4 cm de diâmetro que envolve a porção inicial da uretra. A secreção prostática é lançada na uretra e no ducto ejaculatório por meio de diversos canais.

Embaixo da próstata, desembocando na uretra, há um par de **glândulas bulbouretrais**. Durante a excitação sexual, essas glândulas liberam um líquido que contribui para a limpeza do canal da uretra, antes da passagem do esperma.

No clímax da excitação sexual masculina, quase sempre ocorre **ejaculação**, processo de eliminação do esperma através da uretra. O volume de esperma eliminado em cada ejaculação é de aproximadamente 5 mL e contém cerca de 350 milhões de espermatozoides. (Fig. 11.3)

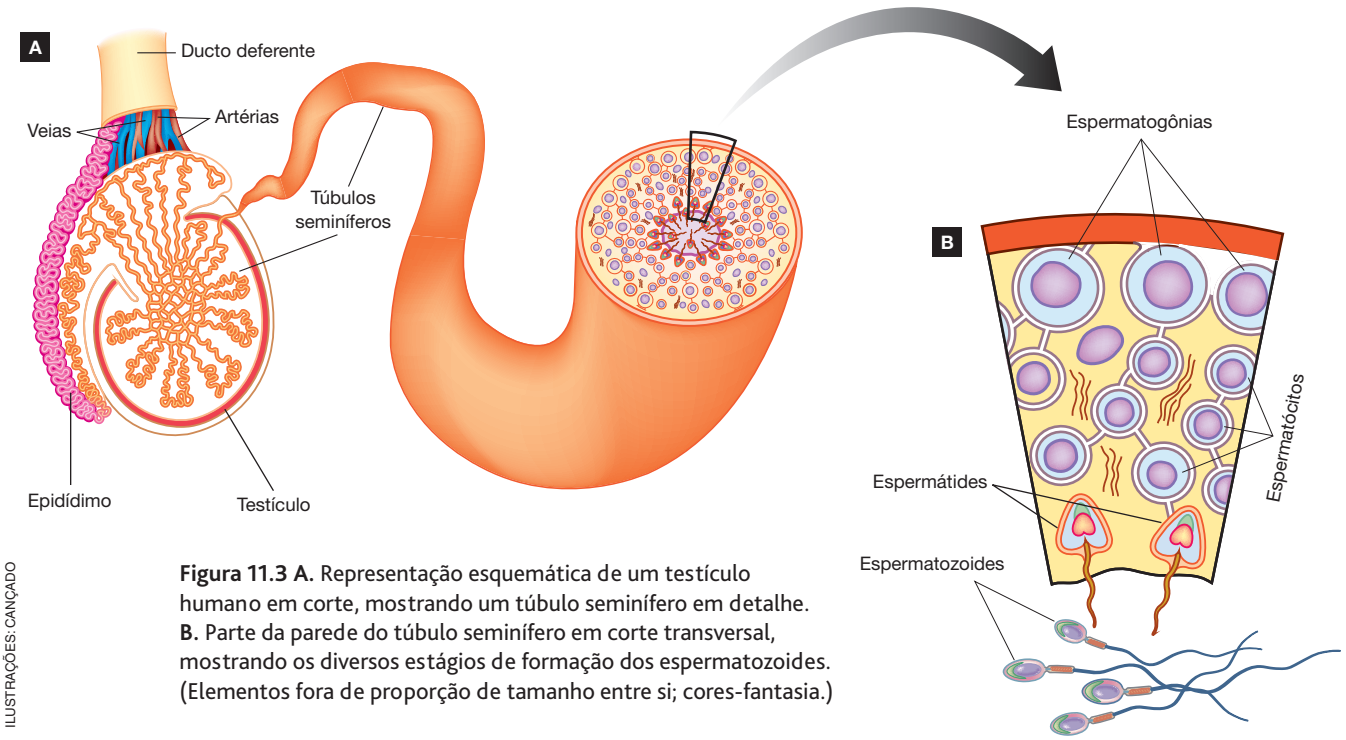


Figura 11.3 A. Representação esquemática de um testículo humano em corte, mostrando um túbulo seminífero em detalhe. **B.** Parte da parede do túbulo seminífero em corte transversal, mostrando os diversos estágios de formação dos espermatozoides. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: CANÇADO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

11.3 Hormônios relacionados à reprodução

A puberdade humana é marcada por grandes transformações no corpo e na mente dos adolescentes. O desenvolvimento físico e mental acelera-se e começam a se definir as características sexuais secundárias, típicas de fêmeas e machos de nossa espécie. Nas meninas, os seios desenvolvem-se, as curvas corporais se acentuam e surgem pelos axilares e pubianos. Nos meninos, além dos pelos axilares e pubianos, desenvolve-se barba, a voz engrossa e a musculatura torna-se mais densa. Isso para citar apenas algumas das muitas transformações que ocorrem nessa fase da vida humana.

As transformações exteriorizadas da adolescência sinalizam importantes mudanças internas; o organismo torna-se capaz de cumprir, caso deseje, uma das possíveis tarefas de todo ser vivo: reproduzir-se.

Como veremos a seguir, todas essas mudanças são desencadeadas pelos **hormônios sexuais**. Essas substâncias são lançadas no sangue em pequenas quantidades por certas glândulas endócrinas. Ainda durante o desenvolvimento embrionário, os hormônios influenciam a formação dos órgãos genitais; a partir da puberdade, eles acentuam as diferenças entre machos e fêmeas, induzem a formação dos gametas e promovem o impulso sexual, além de serem os principais responsáveis pelas modificações do organismo feminino durante a gravidez e a amamentação do bebê.

Gonadotrofinas: FSH e LH

As mudanças fisiológicas que ocorrem aproximadamente entre 11 e 14 anos de idade, caracterizando a puberdade, são controladas por dois hormônios produzidos pela adenoipófise: o **hormônio estimulante do folículo** (**FSH**) e o **hormônio luteinizante** (**LH**). Esses hormônios são chamados **gonadotrofinas** (do grego *trophos*, nutrição, desenvolvimento), pois atuam sobre as gônadas.

Nos meninos, o FSH e o LH agem sobre os testículos, estimulando a produção da testosterona. Nas meninas, o FSH atua sobre os ovários, promovendo o desenvolvimento dos folículos ovarianos, enquanto o LH é responsável pelo rompimento do folículo maduro e pela liberação do óvulo. O LH também atua sobre o folículo rompido, estimulando sua transformação em corpo-amarelo ou corpo-lúteo, que produz o hormônio progesterona, como veremos a seguir.

Estrógeno e progesterona

O **estrógeno** é produzido principalmente pelas células do folículo ovariano em desenvolvimento e determina o aparecimento das características sexuais secundárias da mulher, tais como o desenvolvimento das mamas, o alargamento dos quadris e o acúmulo de gordura em determinados locais do corpo, características das formas femininas. O estrógeno também induz o amadurecimento dos órgãos genitais e promove o impulso sexual.

A **progesterona**, produzida principalmente pelo corpo-amarelo ovariano, tem importância fundamental no processo reprodutivo, pois, juntamente com o estrógeno, atua na preparação da parede uterina para receber o embrião. (Tab. 11.1)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

TABELA 11.1 PRINCIPAIS HORMÔNIOS REPRODUTIVOS E SUA AÇÃO NO ORGANISMO FEMININO

Glândula	Hormônio	Órgão-alvo	Principais ações
Hipófise	FSH	Ovário	Estimula o desenvolvimento do folículo, a secreção de estrógeno e a ovulação.
	LH	Ovário	Estimula a ovulação e o desenvolvimento do corpo-amarelo.
	Prolactina	Mamas	Estimula a produção de leite (após estimulação prévia das glândulas mamárias por estrógeno e progesterona).
Ovário	Estrógeno	Diversos	Atua no crescimento do corpo e dos órgãos genitais; estimula o desenvolvimento das características sexuais secundárias.
		Sistema genital	Estimula a maturação dos órgãos genitais e a preparação do útero para a gravidez.
	Progesterona	Útero	Completa a preparação da mucosa uterina, mantendo-a pronta para a gravidez.
		Mamas	Estimula o desenvolvimento das glândulas mamárias.

Testosterona

A **testosterona** é um hormônio produzido pelas células intersticiais dos testículos, sendo responsável pelo aparecimento das características sexuais secundárias masculinas, tais como barba, espessamento das pregas vocais, que torna a voz mais grave, e maior desenvolvimento da musculatura corporal em relação às mulheres. Esse hormônio induz o amadurecimento dos órgãos genitais, promove o impulso sexual e, com o FSH e o LH, estimula a produção de espermatozoides.

A testosterona começa a ser produzida ainda na fase embrionária; é sua presença no embrião que determina o desenvolvimento dos órgãos genitais masculinos. A ausência de testosterona ou a falta de receptores para esse hormônio nas células do embrião fazem com que ele desenvolva o sexo feminino. (Fig. 11.4)

ILUSTRAÇÃO: SIMONKA

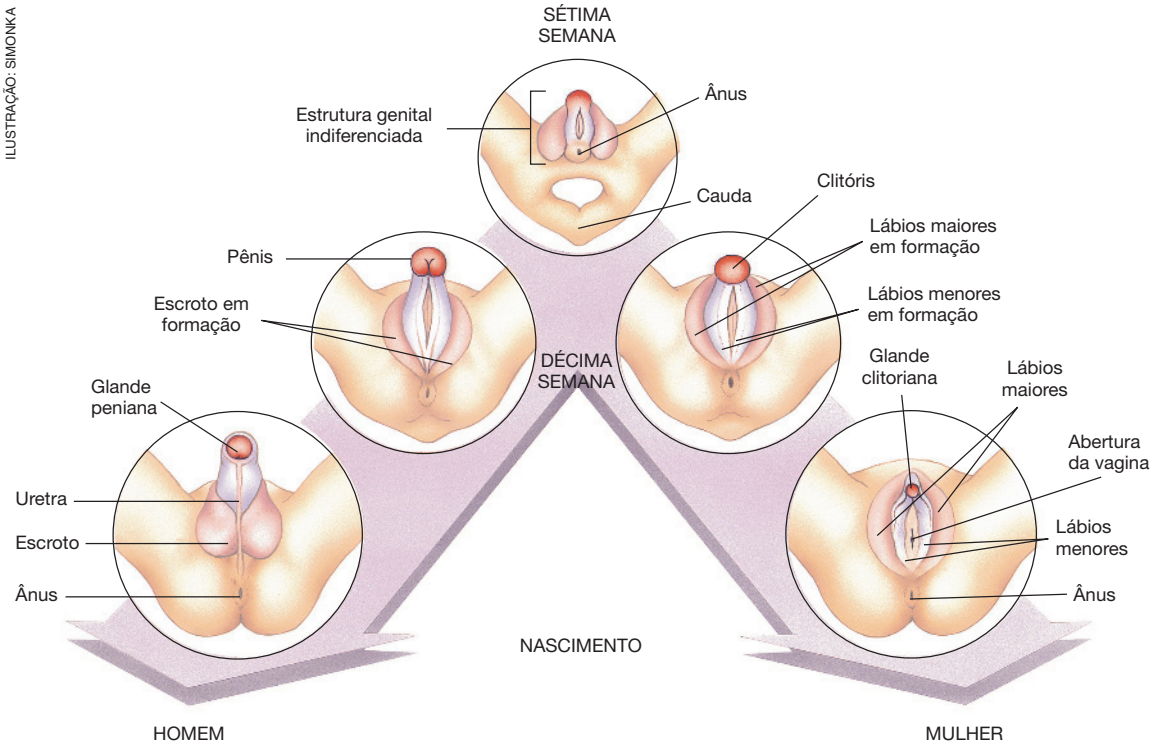


Figura 11.4 Representação da diferenciação dos órgãos genitais humanos. Até a sétima semana de vida intrauterina, a estrutura genital humana externa ainda é indiferenciada; os órgãos genitais internos e externos de uma pessoa ainda não se diferenciaram em feminino ou masculino. A produção de testosterona pelos testículos embrionários induz a diferenciação do sistema genital em masculino (esquerda); sem a ação desse hormônio, o sistema genital desenvolve-se no sexo feminino (direita). Note a correspondência de origem entre os lábios vaginais e o escroto, bem como entre o clitóris e o pênis. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Controle hormonal do ciclo menstrual

A partir da puberdade, a mulher entra na fase reprodutiva, que vai, aproximadamente, até os 50 anos de idade. Nesse período, a cada 28 dias, em média, o organismo feminino prepara-se para uma possível gravidez, produzindo óvulos e desenvolvendo o revestimento da parede uterina, o endométrio, para a eventualidade de receber um embrião.

Se a fecundação não ocorre, o revestimento da parede uterina sofre uma descamação e é eliminado pela vagina, fenômeno denominado **menstruação**. O período menstrual dura entre 3 e 7 dias e ocorre todo mês, a cada 28 dias, em média, dependendo da mulher e de suas condições fisiológicas. O intervalo entre o início de uma menstruação e o início da seguinte é chamado **ciclo menstrual**.

Durante o ciclo menstrual, as taxas dos hormônios sexuais sofrem variações expressivas. A menstruação ocorre, precisamente, quando as taxas de todos esses hormônios se tornam muito baixas no sangue da mulher.

Durante o período de menstruação, a adenoipófise começa gradativamente a aumentar a produção do hormônio FSH, cuja taxa eleva-se no sangue. O FSH promove o desenvolvimento de alguns folículos ovarianos, que passam a produzir o hormônio estrógeno. A elevação da taxa de estrógeno na circulação sanguínea induz o espessamento do endométrio, que se torna rico em vasos sanguíneos e em glândulas.

Quando a taxa de estrógeno no sangue atinge determinado nível, a adenoipófise é estimulada a liberar LH. A ação desses hormônios induz a ovulação, que ocorre geralmente por volta do décimo quarto dia a partir do início do ciclo menstrual.

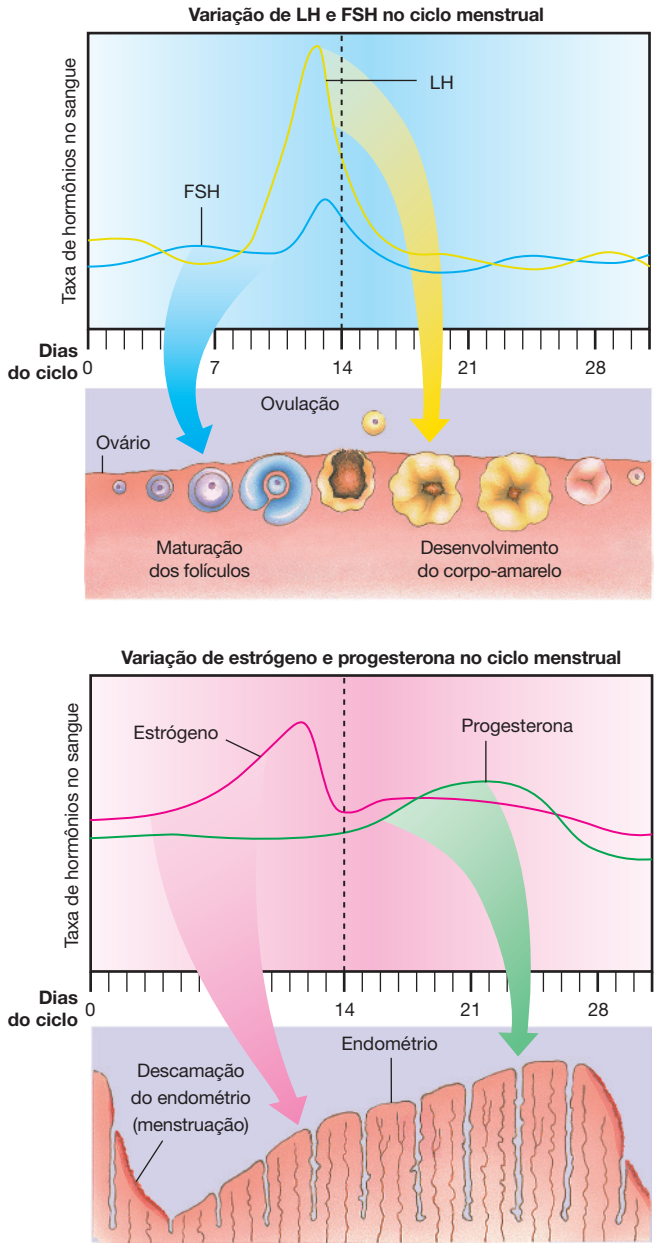
O LH, presente em taxas elevadas a partir da ovulação, induz as células do folículo ovariano rompido a formar o corpo-amarelo, que produz pequena quantidade de estrógeno e grande quantidade de progesterona. O corpo-amarelo atinge seu desenvolvimento máximo cerca de 8 a 10 dias após a ovulação. Caso não ocorra fecundação, o corpo-amarelo regride.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O estrógeno e a progesterona atuam em conjunto no útero, que continua a se preparar para uma eventual gravidez. A taxa elevada desses hormônios passa a exercer um efeito inibidor sobre a adenoipófise, que diminui a produção de FSH e LH.

A queda na taxa de LH tem como consequência direta a regressão do corpo-amarelo, que deixa de produzir estrógeno e progesterona. A redução brusca nas taxas desses dois hormônios ovarianos leva ao desprendimento da mucosa uterina, que é eliminada na menstruação. Caso haja fecundação, o corpo-amarelo mantém-se em atividade por ação do hormônio gonadotrofina coriônica, como veremos no próximo item.

Por sua vez, a queda nas taxas de estrógeno e de progesterona faz com que a adenoipófise volte a produzir FSH, iniciando-se, assim, um novo ciclo menstrual. (Fig. 11.5)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 11.5 Gráficos que mostram a variação das taxas dos hormônios hipofisários FSH e LH e dos hormônios sexuais estrógeno e progesterona durante o ciclo menstrual. A variação desses hormônios está relacionada com as alterações do folículo ovariano e do endométrio. Analise a figura acompanhando as explicações no texto. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborados com base em Campbell, N. A. e cols., 1999.)

A produção dos hormônios sexuais femininos declina acentuadamente a partir dos 50 anos de idade da mulher, em média. Os ciclos menstruais tornam-se irregulares, até cessarem por completo. Essa fase, que marca o fim da fase reprodutiva feminina, é chamada **climatério**. Embora o termo menopausa seja popularmente empregado para denominar esse período, **menopausa** é o nome dado à última menstruação na vida da mulher.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Amplie seus conhecimentos

Homens e mulheres: compreender conceitos para vencer preconceitos e estereótipos

Determinação do sexo biológico na espécie humana

Nos seres humanos, como em muitas outras espécies, há diferenças marcantes entre indivíduos do sexo masculino e do sexo feminino. O conjunto dessas diferenças é chamado de dimorfismo sexual. O sexo biológico pode ser diferenciado pelo tipo de genitália, pelos tipos de cromossomos no núcleo das células e pelos hormônios no sangue do indivíduo.

Ao nascer, a diferença externa mais notável que distingue crianças do sexo masculino e do sexo feminino é o tipo de genitália externa – presença de pênis e bolsa escrotal nos meninos, e de pudendo feminino (ou vulva) nas meninas. Internamente, meninos têm como gônadas – órgãos produtores de gametas – os testículos, localizados na bolsa escrotal, além de outros órgãos genitais internos como epidídimos, ductos deferentes, próstata etc., enquanto meninas têm como gônadas os ovários, além de outros órgãos genitais internos como os ovidutos, o útero e a vagina (reexamine os esquemas dos sistemas genitais apresentados no capítulo).

Ao longo do desenvolvimento e principalmente após a puberdade, as diferenças físicas entre os sexos se acentuam e surgem as chamadas características sexuais secundárias. Entre elas podem-se destacar a distribuição da gordura corporal, que torna os corpos femininos geralmente mais arredondados que os masculinos, a quantidade da massa muscular e óssea, geralmente maior nos homens, a presença de mamas desenvolvidas nas mulheres, a quantidade e a distribuição dos pelos corporais, sem falar no timbre da voz, geralmente mais grave nas pessoas do sexo masculino.

Em nossa espécie, o sexo biológico é, primariamente, determinado no momento da fecundação, quando ocorre a união de um espermatozoide, que contém os cromossomos e genes paternos, e um óvulo, que contém cromossomos e genes maternos. A fecundação de um óvulo por um espermatozoide portador de cromossomo X originará um indivíduo com características típicas do sexo feminino, que apresenta em suas células um par de cromossomos sexuais do tipo X, além de 22 pares de cromossomos equivalentes aos do sexo masculino (autossomos). Por isso, costuma-se representar a fórmula cromossômica feminina como 44A + XX. Por outro lado, a fecundação de um óvulo por um espermatozoide portador de cromossomo Y originará um indivíduo do sexo masculino. Nos homens, além dos 22 pares de autossomos, há um cromossomo do tipo X equivalente ao feminino e um cromossomo Y. Assim, a fórmula cromossômica masculina é 44A + XY.

A determinação do sexo na espécie humana, como em outros mamíferos, deve-se à presença de um gene localizado no braço curto do cromossomo Y, denominado SRY (do inglês, *sex regulation on the* Y). O produto desse gene, atuando sobre as células da gônada ainda indiferenciada do embrião, faz com que ela se desenvolva em testículo. A ausência do produto desse gene, como ocorre em embriões XX, faz com que a gônada embrionária se diferencie em ovário. São conhecidos casos de cromossomos Y em que o gene SRY, devido a uma mutação, foi perdido ou se tornou não funcional. Nesse caso, a gônada indiferenciada do embrião XY desenvolve-se em ovário e a pessoa manifesta o sexo feminino, apesar de ser cromossomicamente XY. Resumindo, a presença do gene SRY normal leva à condição masculina, enquanto sua ausência ou falhas em seu funcionamento levam à condição feminina.

De que maneira a diferenciação das gônadas em testículos resulta em uma pessoa do sexo masculino? Na gônada masculina em desenvolvimento por ação do gene SRY, são ativados os genes responsáveis pela síntese da testosterona, hormônio que leva ao desenvolvimento das características sexuais secundárias masculinas.

A testosterona produzida nos testículos é liberada na corrente sanguínea do embrião, atuando sobre determinadas células corporais, genericamente denominadas células-alvo do hormônio. Em adolescentes, as células-alvo da testosterona são desde células cerebrais até células musculares, cartilaginosas, epidérmicas etc., responsáveis pelas características sexuais secundárias masculinas.

No citoplasma das células-alvo, a testosterona une-se a uma proteína denominada AR (do inglês, *androgen receptor*, receptor de andrógeno), a qual é produzida por um gene localizado no cromossomo X (gene AR). O complexo formado pela proteína AR unida à testosterona penetra no núcleo das células-alvo e ativa genes masculinizantes.

A proteína AR é, portanto, crucial na determinação do sexo masculino. Se o gene que codifica essa proteína for perdido ou sofrer uma mutação que o inative, a testosterona não atuará e não haverá efeito masculinizante no corpo do indivíduo. Uma mutação rara ligada ao cromossomo X, que ocorre em 1 a cada 65 mil nascimentos de pessoas XY, é responsável pela chamada "síndrome da insensibilidade a andrógenos". As pessoas afetadas por essa síndrome, apesar de terem cariótipo 44A + XY, desenvolvem-se como mulheres,

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

apresentando genitália externa tipicamente feminina e vagina, mas não têm útero nem ovários; os testículos alojam-se nos lábios vaginais ou no abdome. Apesar do fenótipo feminino e de poderem ser sexualmente ativas, essas pessoas são estéreis, condição que não pode ser revertida por tratamento hormonal.

Diferenças além do sexo biológico

Além das diferenças entre homens e mulheres quanto às características sexuais primárias (genitália) e secundárias, há também diferenças quanto a aspectos cognitivos e emocionais. Embora diversas pesquisas venham apontando diferenças cerebrais e comportamentais entre os sexos, uma das grandes dificuldades nesse campo do conhecimento reside na influência que a educação e os aspectos sociais exercem sobre as pessoas.

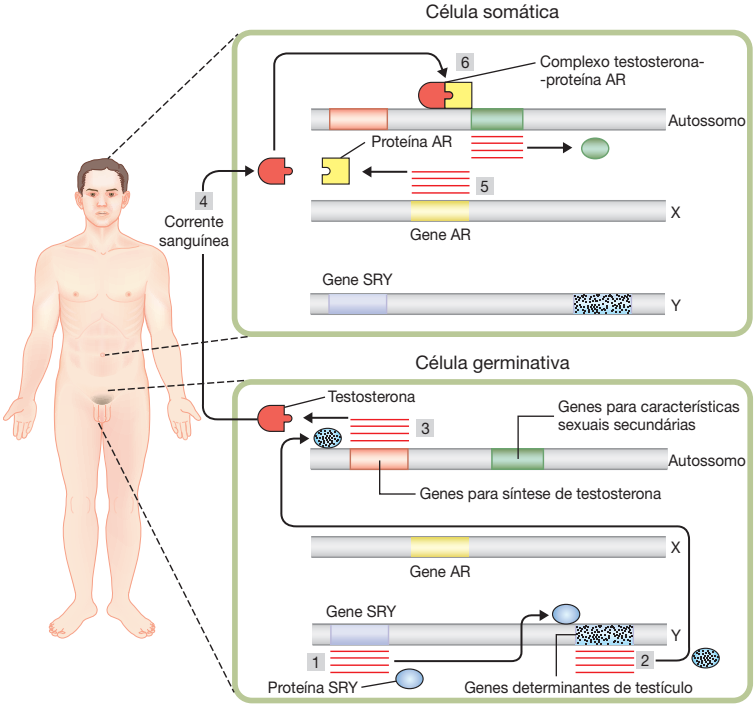
Nos dias atuais, em que há maior liberdade de expressão e maior aceitação de minorias sociais, discute-se a possibilidade de identificar as pessoas, em vez de pelo sexo biológico, pelo gênero, definido como a identidade de uma pessoa não apenas em função de seus órgãos genitais, mas também de sua estrutura psicológica, de seu comportamento na sociedade e de seu autorreconhecimento.

Usualmente os principais gêneros são o masculino e o feminino; porém, há casos em que o sexo biológico determinado geneticamente não corresponde à identidade de gênero que o indivíduo tem de si mesmo (transgêneros).

Além do sexo biológico e da identidade de gênero, também há a orientação sexual do indivíduo, que envolve a atratividade sexual-afetiva. Por exemplo, quando essa atração ocorre entre pessoas de sexos diferentes, ela é chamada de heterossexualidade ou, mais amplamente, heteroafetividade; quando ocorre entre pessoas de mesmo sexo, é denominada homossexualidade ou homoafetividade.

Ainda hoje, em diversas situações, as diferenças inerentes entre homens e mulheres têm sido utilizadas em detrimento do sexo feminino, levando a diversos tipos de preconceito de gênero. Por exemplo, o fato de homens serem, em média, fisicamente mais fortes que as mulheres tem levado à construção do estereótipo da mulher como o "sexo frágil", o que é estendido a muitas esferas da vida social. Em algumas sociedades, essas diferenças são ainda mais marcantes; nelas, as mulheres não podem votar, mostrar o rosto e dirigir automóveis, entre tantos outros aspectos discriminatórios. Pesquisas mostram que praticamente no mundo todo ainda há discriminação de gênero na área do trabalho. É comum que as mulheres recebam salários menores que os dos homens, mesmo ocupando cargos semelhantes aos deles.

A tendência é que as diferenças entre homens e mulheres sejam vistas não como superiores ou inferiores, mas como complementares. É importante que as eventuais diferenças possam se somar no exercício da cidadania. Independentemente do sexo biológico, do gênero e da orientação sexual, cada pessoa faz parte da sociedade e a participação de todos é fundamental para a construção de uma realidade mais justa, equilibrada e sem preconceitos.



ILUSTRAÇÕES: CANÇADO

Representação esquemática da interação entre genes que determinam o sexo masculino em seres humanos. A sequência de ação dos genes está numerada, iniciando-se com a síntese da proteína SRY na gônada indiferenciada do embrião (1). O produto do gene SRY ativa genes que determinam a diferenciação da gônada em testículo (2). O produto desses genes, por sua vez, ativa os genes responsáveis pela síntese do hormônio testosterona (3). Esse hormônio é liberado na corrente sanguínea, pela qual atinge as células corporais (células somáticas) alvos da testosterona (4). No citoplasma dessas células, o hormônio se une à proteína receptora AR, codificada por um gene localizado no cromossomo X (5). O complexo testosterona-proteína AR penetra no núcleo das células-alvo e ativa genes responsáveis pelas características sexuais secundárias masculinas (6). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Griffiths e cols., 2005.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

11.4 Gravidez e parto

Este pode ser um bom momento para aplicar as atividades 18 e 19 no final deste capítulo.

Fecundação e nidação

A fecundação ocorre no terço inicial da tuba uterina e, em geral, nas primeiras 24 horas após a ovulação. Ao se deslocar pelo oviduto em direção ao útero, o zigoto passa pelas primeiras clivagens, originando a mórula, que chega ao útero cerca de 3 dias após a fecundação.

O embrião continua a se desenvolver e, por volta do 7º dia após a fecundação, encontra-se no estágio de blástula, que nos mamíferos é denominada **blastocisto**. Este se implanta na mucosa uterina, fenômeno que recebe o nome de **nidação**. Com isso, inicia-se a **gravidez** ou gestação, que se encerra com o parto, cerca de nove meses mais tarde.

Na fase de blastocisto, o embrião é uma esfera de blastômeros, com um pequeno aglomerado celular em um dos polos e uma cavidade cheia de líquido. As células que formam a parede do blastocisto constituem o **trofoblasto**; a cavidade interna é a **blastocela** e o aglomerado de células constitui o **embrioblasto**.

As células do trofoblasto aderem à parede uterina e secretam enzimas que digerem porções do endométrio, no qual o embrião se infiltra e cresce. O trofoblasto se ramifica e ocupa as cavidades abertas e, como reação à infiltração do trofoblasto, a parede uterina sofre alterações celulares e vasculares, com grande desenvolvimento de vasos sanguíneos na região, originando uma estrutura altamente vascularizada. (Fig. 11.6)

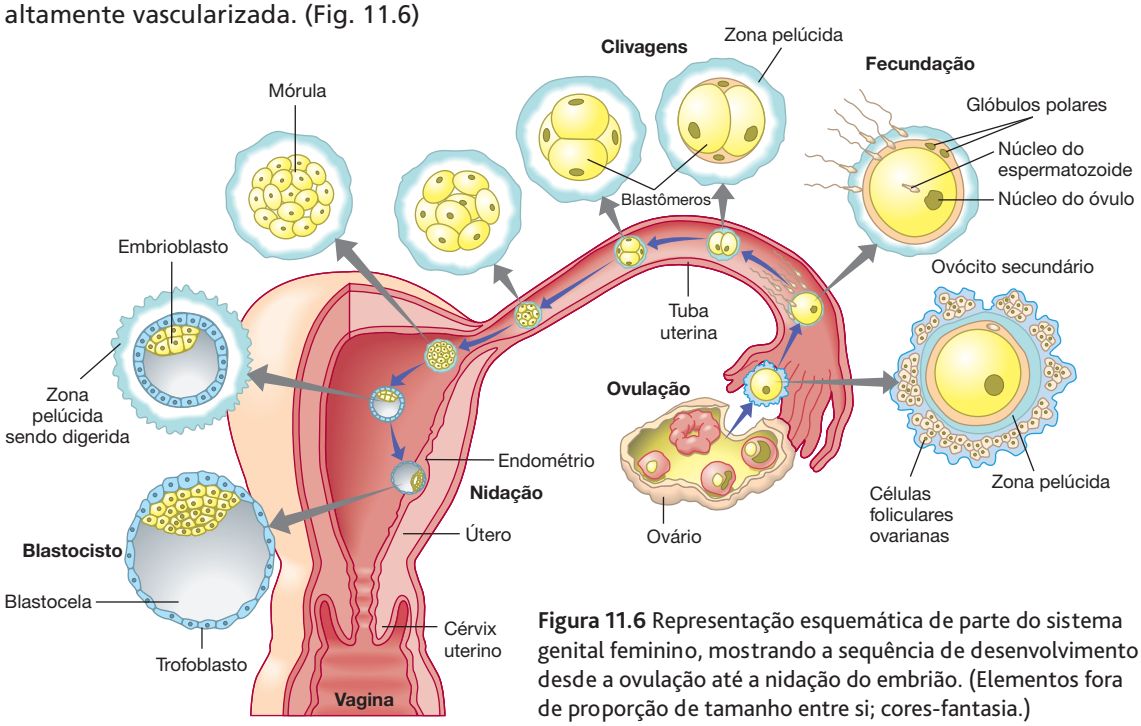


Figura 11.6 Representação esquemática de parte do sistema genital feminino, mostrando a sequência de desenvolvimento desde a ovulação até a nidação do embrião. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

As enzimas secretadas pelo trofoblasto digerem as paredes dos vasos sanguíneos, formando ao seu redor lacunas de sangue, pelas quais passa a circular sangue materno. As projeções do trofoblasto que se ramificam dentro da parede uterina são as **vilosidades coriônicas**.

As vilosidades coriônicas do embrião recém-implantado na parede uterina secretam um hormônio denominado **gonadotrofina coriônica**. Esse hormônio sinaliza a presença do embrião e estimula a atividade do corpo-amarelo, mantendo as taxas de estrógeno e de progesterona elevadas no sangue da mulher. Consequentemente, a menstruação não ocorre, o que constitui um dos primeiros sinais de gravidez.

Este pode ser um bom momento para realizar a atividade complementar 11, disponível no **Suplemento para o professor**.

No início da gestação, a concentração de gonadotrofina coriônica é tão elevada no sangue da mulher que seu excesso é eliminado na urina. Diversos testes de gravidez disponíveis em farmácias detectam a presença de gonadotrofina coriônica na urina da mulher, o que indica a gravidez.

A partir do quarto mês de gestação, o corpo-amarelo começa a regredir. A mucosa uterina, mantida até então pelos hormônios do corpo-amarelo, continua a se desenvolver graças à produção de estrógeno e progesterona pela placenta.

ILUSTRAÇÃO: ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

A placenta

A **placenta** é um órgão formado pelo desenvolvimento conjunto da parede uterina e das vilosidades coriônicas do embrião. É por meio da placenta que ocorrem trocas de substâncias entre mãe e filho durante a gravidez. Alimento e gás oxigênio passam do sangue da mãe para o do filho, enquanto excreções e gás carbônico fazem o caminho inverso. O sangue da mãe e o do embrião não se misturam na placenta. As trocas ocorrem através das paredes dos vasos sanguíneos que separam as circulações embrionária e materna.

A placenta comunica-se com o embrião pelo **cordão umbilical**, uma estrutura tubular originada a partir do mesoderma e do ectoderma extraembrionários. O cordão umbilical tem em seu interior duas artérias e uma veia, por meio das quais o sangue do embrião vai e volta da placenta. (Fig. 11.7)

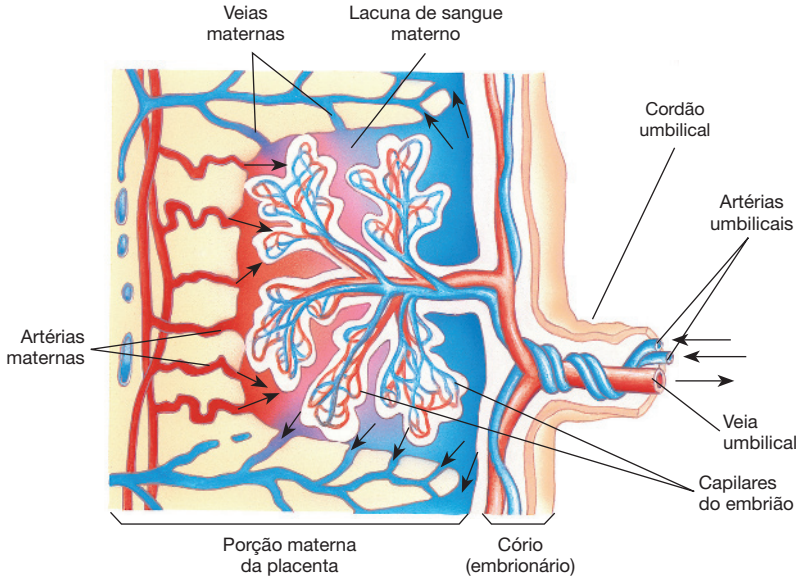
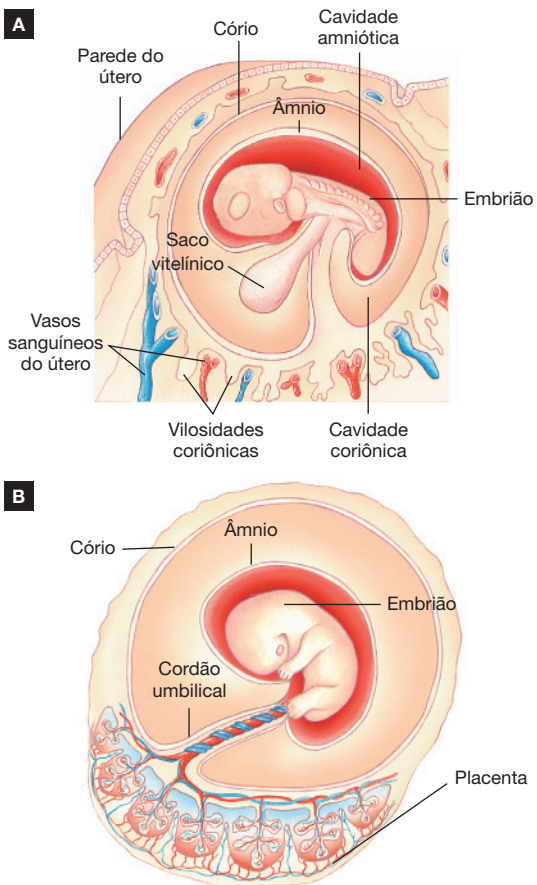


Figura 11.7 Representação esquemática da circulação sanguínea na placenta, um órgão compartilhado entre mãe e embrião. As setas indicam o sentido da circulação do sangue. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

Fase fetal

Cerca de cinco semanas após a fecundação, os braços e as pernas do embrião humano tornam-se bem definidos e começam a apresentar contrações musculares. Na nona semana de vida (final do segundo mês), o embrião tem cerca de 2,5 cm de comprimento e aparência tipicamente humana. Nessa época também se inicia a formação dos ossos, e o embrião passa a ser chamado **feto**. (Fig. 11.8)



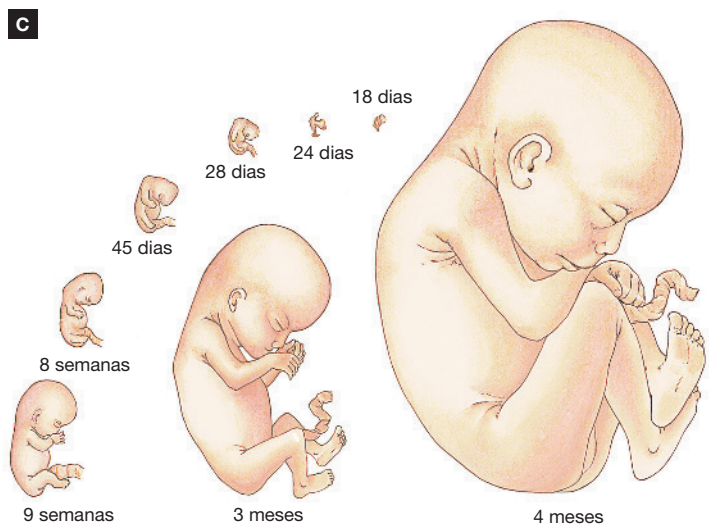


Figura 11.8 A. Representação esquemática de corte de um embrião humano com cerca de 27 dias e seus anexos embrionários. **B.** Representação esquemática de corte de um embrião de 45 dias, com a placenta e o cordão umbilical formados. **C.** Representação esquemática em que se compara o tamanho relativo de embriões humanos de diferentes idades. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Aos cinco meses, o feto humano tem cerca de 20 cm de comprimento e pesa aproximadamente meio quilograma. Aos sete meses, ele já apresenta boas chances de sobrevivência, se porventura ocorrer seu nascimento prematuro. (Fig. 11.9 e Tab. 11.2)

RALPH HUTCHINGS/VISUALS UNLIMITED, INC./GLOW IMAGES

Figura 11.9 Feto humano com 16 semanas de gestação, com cerca de 11 cm de comprimento. Ele já pode ouvir e se movimentar em resposta a alguns sons.

TABELA 11.2 OCORRÊNCIAS MARCANTES NO DESENVOLVIMENTO EMBRIONÁRIO HUMANO

Idade do embrião	Evento
24 horas	Primeira divisão do zigoto, com formação de duas células.
3 dias	Chegada do embrião à cavidade uterina.
7 dias	Implantação do embrião no útero.
2,5 semanas	Organogênese em curso. Início da formação da notocorda e do músculo cardíaco; formação das primeiras células sanguíneas, do saco vitelínico e do cório.
3,5 semanas	Formação do tubo nervoso. Primórdios de olhos e orelhas já são visíveis; diferenciação do tubo digestivo, com formação das fendas na faringe e início do desenvolvimento do fígado e do sistema respiratório; o coração começa a bater.
4 semanas	Aparecimento de brotos dos braços e das pernas; formação das três partes básicas do encéfalo.
2 meses	Início dos movimentos. Já é possível identificar a presença de testículos ou ovários; tem início a ossificação; os principais vasos sanguíneos assumem sua posição definitiva.
3 meses	O sexo já pode ser identificado externamente; a notocorda degenera.
4 meses	A face do embrião assume aparência humana.
3º trimestre	Os neurônios tornam-se mielinizados; ocorre grande crescimento do corpo.
266º dia	Nascimento.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Parto

O **parto** natural consiste na expulsão do feto por contrações rítmicas da musculatura uterina; em geral, isso ocorre ao fim do nono mês de gravidez, aproximadamente 266 dias após a fecundação. Nessa época, o feto humano mede aproximadamente 50 cm de comprimento e pesa, em média, entre 3 e 3,5 kg.

No momento do parto, o colo do útero se dilata e a musculatura uterina se contrai ritmicamente induzida pelo hormônio oxitocina, liberado pela porção posterior da hipófise (neuroipófise). A bolsa amniótica se rompe e o líquido nela contido extravasa pela vagina. O feto é gradualmente empurrado para fora do útero por contrações vigorosas da musculatura uterina. A vagina se dilata e permite a saída do bebê.

A placenta desprende-se da parede uterina e é expulsa pela vagina juntamente com sangue proveniente dos vasos sanguíneos maternos rompidos. Nesse momento, no parto assistido, o cordão umbilical que liga o feto à placenta é cortado e amarrado. (Fig. 11.10)

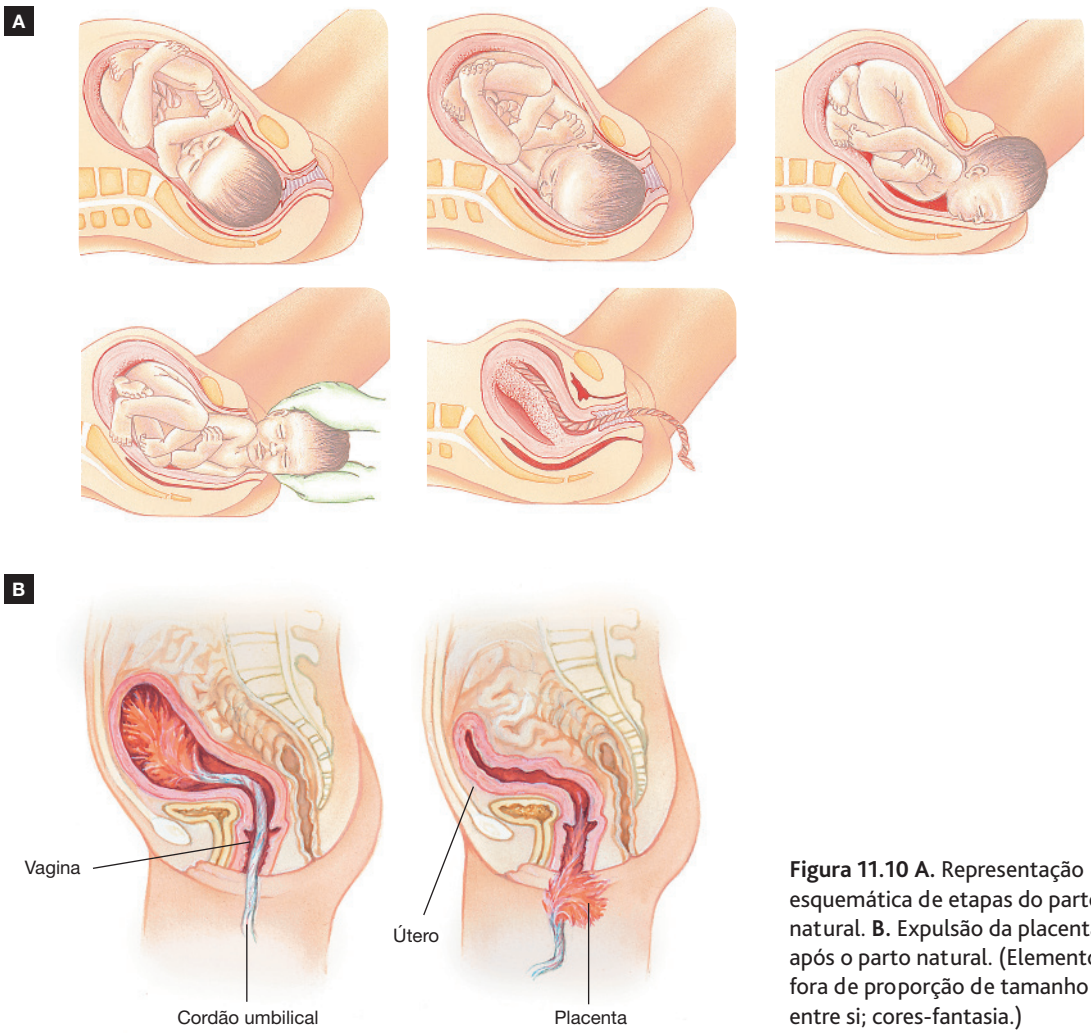


Figura 11.10 A. Representação esquemática de etapas do parto natural. **B.** Expulsão da placenta após o parto natural. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Com o desprendimento da placenta, gás carbônico começa a se acumular no sangue do recém-nascido, estimulando os centros cerebrais respiratórios e desencadeando o funcionamento dos pulmões.

O parto natural pode ser desaconselhado pelos médicos em certos casos, como a falta de contrações uterinas ou o fato de o bebê ser muito grande para passar pela pelve da mãe. Nesses casos, recorre-se a uma intervenção cirúrgica conhecida como **cesariana**, na qual é feita uma incisão na parte baixa do abdome da gestante, de modo a expor o útero; este é cortado e a criança é retirada, juntamente com o cordão umbilical e a placenta.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Amplie seus conhecimentos

Compartilhando o útero materno: gêmeos humanos

Quando nascem duas ou mais crianças em uma gestação, fala-se em **gêmeos**. Eles podem ser tão diferentes quanto dois irmãos quaisquer (gêmeos dizigóticos ou fraternos) ou ser do mesmo sexo e extremamente parecidos fisicamente (monozigóticos).

A gravidez de gêmeos é um evento de relativa raridade na população em geral, menos de 1% dos nascimentos. Apesar dessa baixa porcentagem, estudos realizados em Campinas, São Paulo, mostraram que, entre os gêmeos, o número de complicações e morte após o nascimento praticamente dobra em relação aos nascimentos de parto único. Estudos realizados na Finlândia mostraram que a fecundação *in vitro* (FIV) eleva significativamente a chance de gestações múltiplas (gêmeos e trigêmeos); ela foi da ordem de 36% no grupo FIV e 2,2% no grupo utilizado como controle.

Gêmeos dizigóticos (ou gêmeos fraternos)

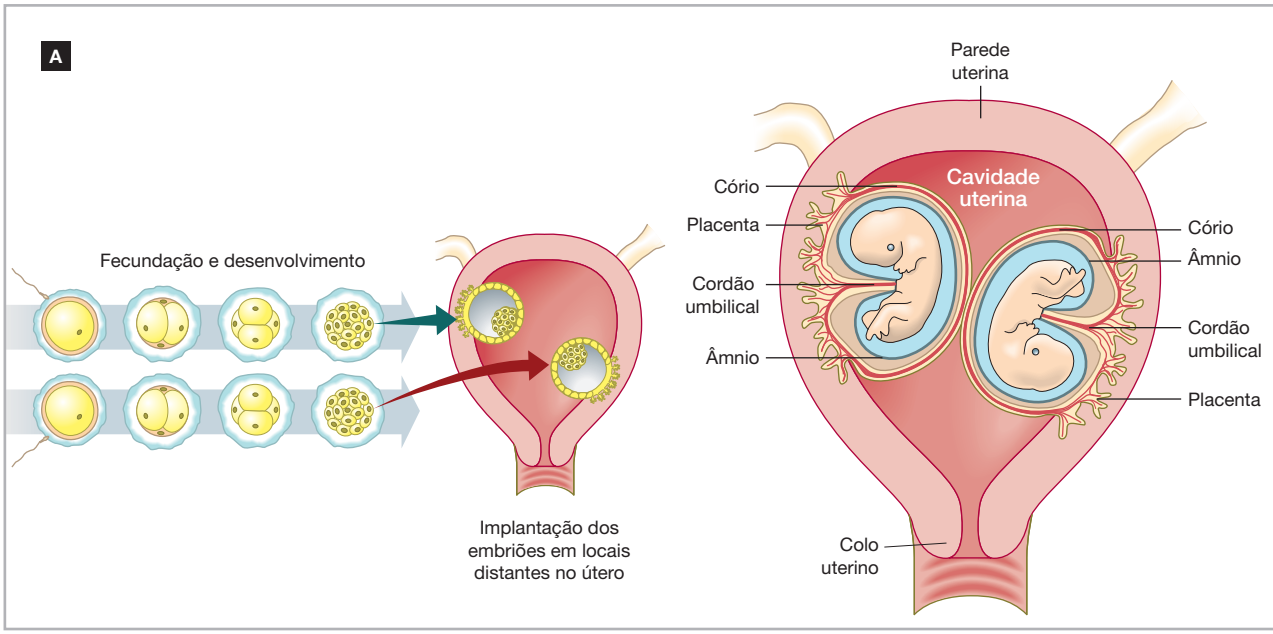
Normalmente a mulher libera apenas um ovócito ("óvulo") a cada ciclo menstrual. Eventualmente, porém, pode liberar dois ovócitos (ou mais) e, se ambos forem fecundados, formam-se dois zigotos; se ambos se desenvolverem, nascerão duas crianças na mesma gravidez, portanto gêmeas. Nesse caso, as crianças podem ser tão diferentes quanto quaisquer irmãos, podendo ter sexos diferentes. Gêmeos desse tipo são, na verdade, irmãos de mesma idade que compartilharam o útero materno, sendo, por isso, chamados **gêmeos dizigóticos** ou gêmeos fraternos. O termo dizigótico enfatiza a origem dos gêmeos, formados a partir de dois zigotos diferentes.

ESTUDI M6/SHUTTERSTOCK

JESSICA HOLDEN PHOTOGRAPHY/ GETTY IMAGES

A. Gêmeas monozigóticas, portanto, originadas do mesmo zigoto; apesar de apresentarem genes idênticos em suas células, essas gêmeas podem exibir diferenças em razão da interação entre os genes e os fatores ambientais ao longo do desenvolvimento. **B.** Gêmeos dizigóticos, formados de dois zigotos distintos e, portanto, de diferentes pares de gametas.

ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO



Gêmeos dizigóticos podem se implantar no útero em locais distantes um do outro, originando cada um sua própria placenta. Em certos casos, porém, a implantação dos dois blastocistos ocorre em áreas uterinas próximas e eles parecem apresentar apenas uma placenta. O exame microscópico revela, porém, que a placenta tem dois córios distintos, entre os quais há trofoblasto e vilosidades coriônicas atrofiadas, resultado do desenvolvimento de uma placenta junto da outra. Cada embrião desenvolve seu próprio âmnio e seu próprio cordão umbilical.

Gêmeos monozigóticos

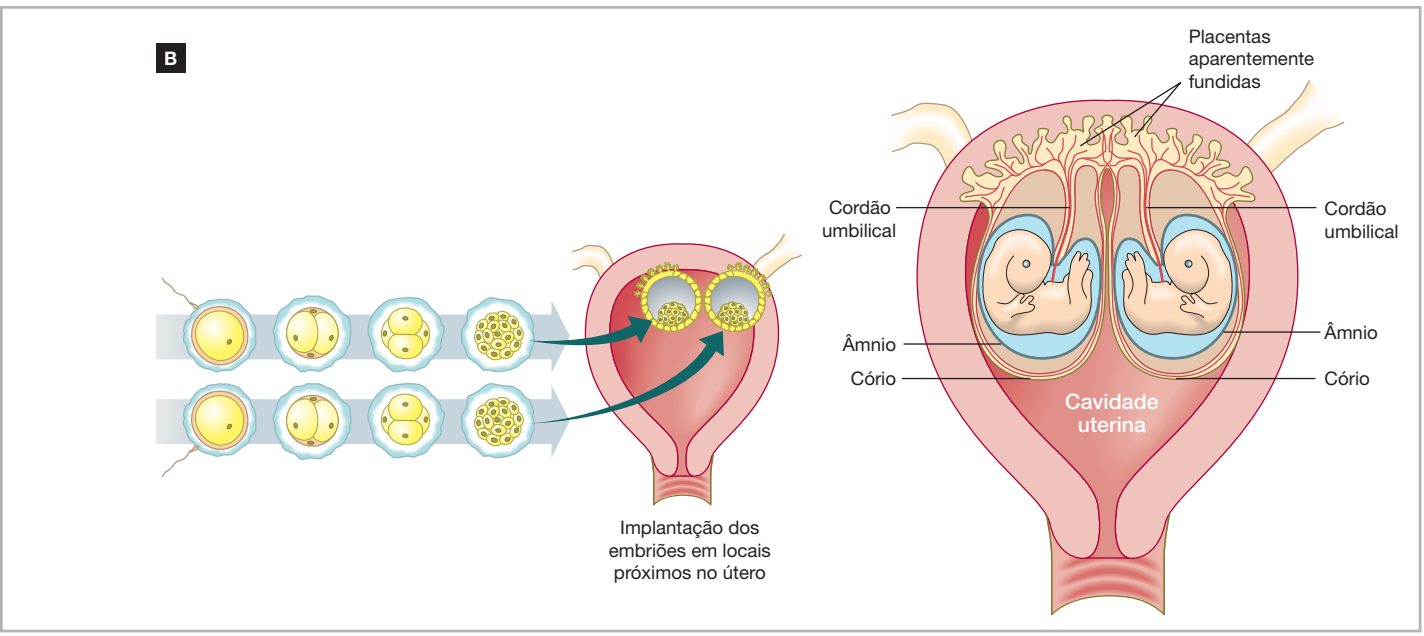
Na espécie humana, um único zigoto pode eventualmente originar dois ou mais indivíduos, idênticos do ponto de vista genético; consequentemente, têm o mesmo sexo e costumam ser muito parecidos fisicamente. Esses são os **gêmeos monozigóticos**, bem menos frequentes que os dizigóticos: de cada quatro pares de gêmeos nascidos, apenas um é monozigótico.

Em aproximadamente 30% dos casos, os gêmeos monozigóticos formam-se até o terceiro dia após a fecundação, quando o embrião ainda se encontra no estágio de mórula. Nesses casos, a mórula divide-se em dois grupos de blastômeros, que prosseguem o desenvolvimento independentemente um do outro, originando dois blastocistos com o mesmo patrimônio genético, uma vez que são provenientes do mesmo zigoto. Cada um desses embriões desenvolve sua própria placenta, âmnio e cordão umbilical; se as implantações forem muito próximas, pode ocorrer uma aparente fusão das placentas, como foi mencionado no caso de gêmeos dizigóticos.

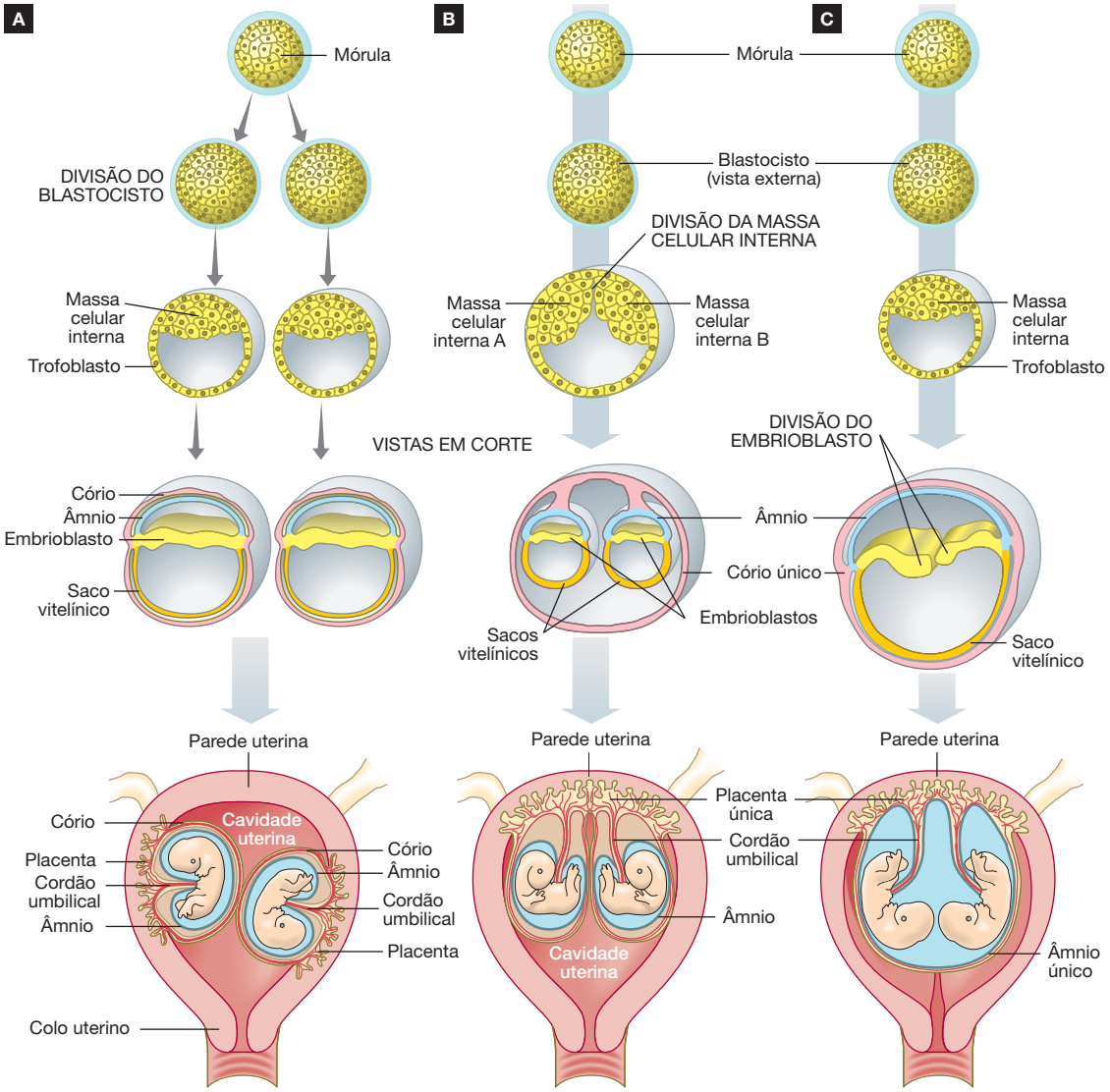
Em 70% dos casos, a formação dos gêmeos monozigóticos ocorre entre o quarto e o décimo quarto dias de vida embrionária. Nesses casos, a divisão do embrioblasto ocorre de tal maneira que os gêmeos, apesar de desenvolverem âmnios e cordões umbilicais próprios, compartilham um único cório e uma única placenta.

Mais raramente, os gêmeos monozigóticos surgem quando o disco embrionário já está presente, ou seja, quando o hipoblasto e o epiblasto já se formaram. A divisão do disco embrionário origina dois embriões, cada um com seu cordão umbilical, mas que compartilham a mesma bolsa amniótica, o mesmo cório e a mesma placenta.

Representação esquemática da formação de gêmeos dizigóticos. **A.** Os gêmeos implantam-se em regiões afastadas no útero, desenvolvendo cório, placenta, âmnio e cordão umbilical separados. **B.** Os gêmeos implantam-se muito próximos um do outro no útero e suas placentas aparentemente se fundem; entretanto, a análise microscópica revela que elas estão separadas. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO



ILUSTRAÇÕES: ADILSON SECCO

Representação esquemática das diferentes maneiras de formação de gêmeos monozigóticos. **A.** Gêmeos formados precocemente pela divisão da mórula em dois blastocistos distintos; eles podem se implantar em regiões distantes do útero ou compartilhar a mesma região uterina da placenta. **B.** Gêmeos formados pela divisão do embrioblasto têm âmnio e cordão umbilical separados, compartilhando o cório e a placenta. **C.** Gêmeos formados tardiamente a partir da divisão do embrioblasto compartilham o cório, o âmnio e a placenta; apenas seus cordões umbilicais são separados. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Gêmeos unidos

Em raros casos, gêmeos monozigóticos podem nascer ligados por uma parte do corpo. Uma denominação para esse tipo de gêmeo – teratópago – carrega uma conotação negativa. O termo vem do grego *teras*, monstro, e *pagos*, unido; preferimos utilizar o termo "gêmeos unidos". Os mais famosos gêmeos unidos foram os irmãos Chang e Eng, nascidos em 1811 no então Sião (hoje Tailândia), que eram ligados pela região torácica. Eles ficaram conhecidos como "irmãos siameses" e ganharam a vida exibindo-se para plateias nos Estados Unidos, onde moraram e se casaram com duas irmãs. Ao morrerem, em 1874, a autópsia revelou haver ligação entre seus fígados.

Há diversos graus de compartilhamento de tecidos e órgãos entre os gêmeos unidos. Em alguns casos, a separação cirúrgica é possível, permitindo a sobrevivência dos dois gêmeos. Em outros casos, a cirurgia leva necessariamente ao sacrifício de um deles; em outros, ainda, a separação é impossível, pois levaria ambos à morte. Essa questão tem sido motivo de grande debate entre médicos e religiosos em virtude das questões éticas e morais envolvidas.

Ciência e cidadania

O controle da reprodução humana

1 A sexualidade e a reprodução da espécie humana são temas apaixonantes e polêmicos. A partir da adolescência, a taxa dos hormônios sexuais aumenta no sangue das pessoas, fazendo com que corpo e mente se modifiquem e a sexualidade passe a desempenhar um papel muito importante na vida.

2 O conhecimento científico sobre a reprodução humana vem garantindo às pessoas a possibilidade de controlar conscientemente sua reprodução. Além do método natural de controle, baseado apenas no conhecimento do ciclo reprodutivo, há também vários métodos anticoncepcionais eficazes, como a pílula, a camisinha, o diafragma, o DIU (dispositivo intrauterino), entre outros. Em uma sociedade democrática, espera-se que a utilização ou não de métodos anticoncepcionais seja uma livre escolha de cada um, de acordo com seus valores e crenças.

3 Conhecer os fundamentos da reprodução humana é importante para o exercício da cidadania, não apenas por permitir à pessoa maior controle sobre a própria reprodução, mas também por possibilitar reflexões mais aprofundadas sobre o crescimento populacional humano, em um mundo já tão intensamente povoado e com tantas questões por resolver.

Métodos contraceptivos

4 **Contracepção** é a prevenção deliberada da gravidez. A maneira mais óbvia e mais segura de prevenir a gravidez é a abstinência de relações sexuais, pelo menos durante o período fértil da mulher, em que existe a possibilidade de haver ovulação.

5 Ao longo da história, a humanidade tem desenvolvido diversos métodos para evitar a gravidez, genericamente denominados **métodos contraceptivos** ou **métodos anticoncepcionais**.

6 Os métodos contraceptivos podem atuar em diferentes etapas do processo reprodutivo. Alguns impedem que os gametas masculinos e femininos se encontrem; outros impedem que a mulher produza gametas; outros, ainda, impedem a implantação do embrião recém-formado na mucosa uterina.

Coito interrompido

7 Um método para evitar a gravidez é o **coito interrompido**, que consiste em retirar o pênis da vagina antes que a ejaculação ocorra. Esse método é pouco eficiente, pois as secreções masculinas eliminadas antes da ejaculação podem conter espermatozoides. Outro motivo para o grande índice de falhas do método é a demora na retirada do pênis, que pode resultar na ejaculação parcial ou total ainda dentro da vagina.

Método do ritmo ovulatório ou da tabelinha

8 Pode-se evitar a gravidez abstendo-se de relações sexuais apenas durante o período fértil do ciclo menstrual. Esse método, conhecido como **método do ritmo ovulatório** ou da **tabelinha**, baseia-se no fato de que o gameta feminino estará presente nos ovidutos, em condição de ser fecundado, apenas durante um curto período do ciclo menstrual, chamado **período fértil**. A mulher normalmente produz, a cada 28 dias, um único óvulo que sobrevive durante, no máximo, dois dias nos ovidutos, até degenerar e ser eliminado.

9 O principal problema é justamente determinar qual é o período fértil da pessoa. O dia em que ocorre a ovulação pode variar, dependendo da duração do ciclo e de outros fatores.

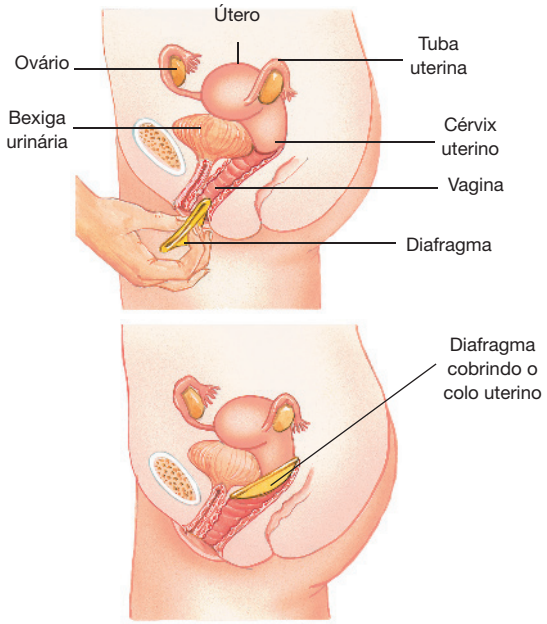
10 Pode-se estimar o dia provável da ovulação, com algum grau de acerto, a partir da análise do gráfico de temperatura corporal. Na maioria das mulheres, a temperatura do corpo eleva-se cerca de 0,5 °C logo após a ovulação. O acompanhamento criterioso da temperatura corporal diária pode fornecer evidências de que a ovulação ocorreu. As estatísticas mostram que mulheres que determinam a época da ovulação por meio da tabela, com o auxílio da construção de gráficos de temperatura diária, têm porcentagem de aceitável sucesso em evitar uma gravidez indesejada, desde que sigam rigorosamente os princípios do método.

Camisinha

11 Entre as práticas anticoncepcionais mais difundidas, destaca-se o uso de barreiras mecânicas, que evitam o encontro dos gametas masculinos com o gameta feminino. O **preservativo**, popularmente chamado de **camisinha**, é um protetor de látex ou de outros materiais utilizado para reter o esperma ejaculado, evitando que ele seja depositado na vagina. Tanto o preservativo masculino, que envolve o pênis, como o preservativo feminino, que a mulher introduz na vagina antes da relação sexual, têm a mesma finalidade. Além de atuar como anticoncepcional, a camisinha é também eficiente na prevenção da aids e de outras doenças sexualmente transmissíveis (DSTs). ▶

Diafragma

12 O **diafragma** é um dispositivo de borracha que deve ser colocado no fundo da vagina de modo a fechar o colo do útero e impedir a entrada de espermatozoides. É comum aplicar no diafragma uma geleia contendo substâncias espermicidas, que matam os espermatozoides e aumentam o índice de segurança do método.



Representação esquemática da colocação correta do diafragma na vagina de modo a cobrir totalmente o colo uterino. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Pílula anticoncepcional

13 A pílula anticoncepcional, um dos métodos contraceptivos mais utilizados no mundo, consiste geralmente em uma mistura de hormônios sintéticos (progesterona e estrógeno) que, dependendo da pílula, a mulher deve ingerir todos os dias, a partir do 5º dia após a menstruação. Depois de 21 dias, suspende-se a pílula por uma semana e começa-se um novo lote de 21 pílulas. A menstruação costuma ocorrer cerca de três dias após a suspensão da ingestão das pílulas.

14 Os dois hormônios presentes na pílula anticoncepcional inibem a secreção de FSH e de LH pela adenoipófise. Na falta desses dois hormônios, não ocorre ovulação. A manutenção de níveis altos de estrógeno e de progesterona no sangue induz o crescimento da mucosa uterina, a qual se descama quando o nível desses hormônios se reduz, no período de uma semana em que a pílula deixa de ser ingerida.

15 A chamada pílula do dia seguinte, também conhecida como método contraceptivo de emergência, é um composto hormonal utilizado para prevenir uma gravidez indesejada dentro de 72 horas após uma relação desprotegida ou acidental.

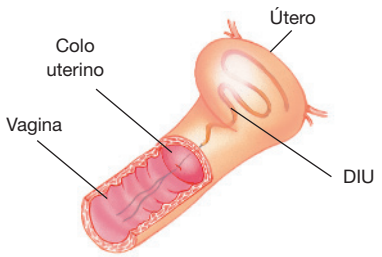
16 Os hormônios constituintes dessa pílula atuam basicamente de duas formas: impedem a ovulação (se ainda não ocorreu) e não permitem que o embrião se implante na parede uterina, entre cinco e seis dias depois da fertilização.

17 Pesquisas científicas têm procurado avaliar se a ingestão continuada de hormônios pode ser responsabilizada por problemas à saúde, tais como alterações na coagulação sanguínea, arteriosclerose e infartos. Um estudo verificou que mulheres fumantes e usuárias de pílulas anticoncepcionais apresentavam risco 10 vezes maior de morte por problemas cardiorrespiratórios. É importante que os contraceptivos orais sejam utilizados sob rigoroso acompanhamento médico, a fim de evitar efeitos colaterais prejudiciais decorrentes da ingestão de hormônios. Particularmente, a utilização da pílula do dia seguinte exige cuidados especiais.

Dispositivo intrauterino: DIU

18 DIU é a sigla de dispositivo intrauterino, nome pelo qual são conhecidos os dispositivos de plástico ou metal introduzidos no útero com o objetivo de evitar a concepção. O DIU deve ser implantado por um médico especialista e, a menos que cause problemas colaterais evidentes, pode permanecer no útero até que a mulher deseje engravidar.

19 O modo de ação do DIU ainda não é totalmente compreendido. Acredita-se que sua presença no útero cause uma pequena inflamação, atraindo macrófagos que destroem os embriões que tentam se implantar na mucosa uterina. Por isso, alguns consideram a utilização do DIU um método abortivo, uma vez que, indiretamente, causa a morte do embrião, por impedir que ele se fixe no útero.



Representação esquemática do DIU na cavidade uterina (mostrado por transparência). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

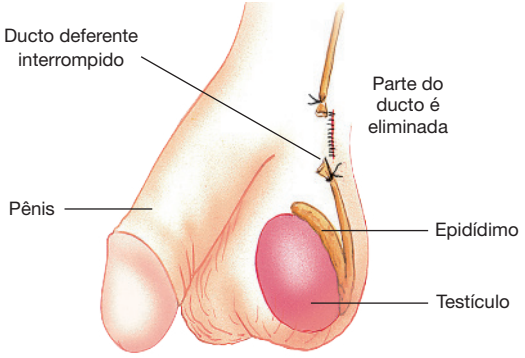
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Vasectomia

20 Esterilização é qualquer processo que impede definitivamente a concepção. No caso do homem, o processo utilizado na esterilização é a **vasectomia**, que consiste no secionamento dos ductos deferentes de modo que os espermatozoides não possam chegar à uretra.

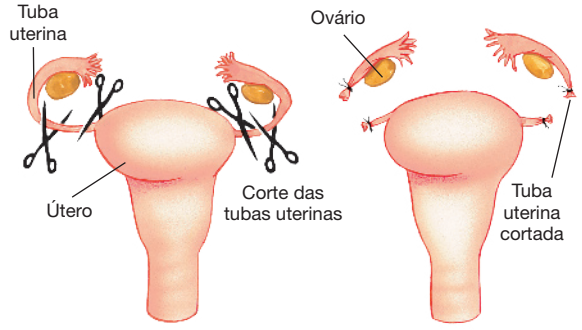
21 Como não afeta a produção de testosterona pelos testículos, a vasectomia não tem nenhum efeito negativo sobre a atividade sexual do homem. O homem vasectomizado atinge o orgasmo e ejacula normalmente, com a diferença de que seu esperma não contém espermatozoides, sendo constituído apenas pelas secreções das glândulas sexuais acessórias.



Representação esquemática da vasectomia, cirurgia em que os ductos deferentes são seccionados. Embora a cirurgia possa ser revertida, nem sempre há sucesso em recuperar a fertilidade. Entretanto, homens vasectomizados que querem ter filhos podem coletar espermatozoides diretamente do testículo e utilizá-los na fecundação *in vitro*. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Laqueadura tubária

22 A esterilização feminina é denominada **laqueadura tubária** e consiste no seccionamento das tubas uterinas. Assim, os espermatozoides são impedidos de chegar até os gametas femininos.



Representação esquemática da laqueadura tubária, uma cirurgia abdominal em que se seccionam as tubas uterinas. Em geral, essa cirurgia é feita em mulheres que já tiveram filhos. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1 Leia os três parágrafos iniciais do quadro, que argumentam a favor da importância dos conhecimentos sobre reprodução humana para o exercício pleno da cidadania. Escreva um texto concordando com as ideias desses três parágrafos ou discordando delas.

2 Leia o quarto, o quinto e o sexto parágrafos, no item *Métodos contraceptivos*. Responda: **a)** O que é contracepção? **b)** Em que etapas da reprodução podem atuar os métodos contraceptivos?

3 O sétimo parágrafo refere-se ao coito interrompido. Qual é o princípio desse método? Em que ele pode falhar?

4 Leia os parágrafos 8, 9 e 10, que apresentam o método do ritmo ovulatório, conhecido popularmente por tabelinha. **a)** Qual é o princípio desse método? **b)** Em que ele pode falhar? **c)** O que pode ser feito para melhorar sua eficácia?

5 Leia o 11º parágrafo, que se refere aos preservativos de látex, feminino e masculino. A camisinha é certamente o mais popular de todos os métodos anticoncepcionais. **a)** Qual é o princípio desse método? **b)** Qual é o outro aspecto importante da utilização da camisinha além do anticoncepcional?

6 No 12º parágrafo é apresentado o diafragma. Acompanhe a leitura do texto com a observação do esquema da colocação correta do diafragma na vagina. **a)** Qual é o princípio desse método? **b)** O que pode ser feito para melhorar sua eficácia?

7 Os parágrafos de 13 a 17 referem-se à pílula anticoncepcional. **a)** Qual é o princípio desse método? **b)** Quais são os possíveis efeitos colaterais decorrentes do uso continuado dos hormônios contraceptivos? **c)** O que é a chamada pílula do dia seguinte?

8 Nos parágrafos 18 e 19 é apresentado o DIU (dispositivo intrauterino). Acompanhe a leitura do texto com a observação do esquema do DIU na cavidade uterina. **a)** Qual é o princípio desse método? **b)** Por que alguns criticam a utilização desse método contraceptivo?

9 Leia o 20º e o 21º parágrafos, referentes à vasectomia. Acompanhe o texto com a observação do esquema e a leitura atenta da legenda. **a)** Qual é o princípio desse método? **b)** A legenda acrescentou alguma informação sobre a vasectomia? Se sim, qual?

10 Leia o 22º e último parágrafo, sobre a laqueadura tubária. Acompanhe com a observação do esquema e a leitura atenta da legenda. **a)** Qual é o princípio desse método? **b)** A legenda acrescentou alguma informação sobre a laqueadura? Se sim, qual?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

1. O conjunto de transformações cíclicas do organismo feminino, em sua preparação para uma possível gravidez, constitui 1. d

a) a menstruação.
b) a ovulação.
c) o ciclo de vida.
d) o ciclo menstrual.

2. A menstruação consiste: 2. c

a) na ruptura do folículo ovariano.
b) no desenvolvimento do corpo-amarelo.
c) no desprendimento e eliminação de parte do endométrio.
d) no período fértil da mulher.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 3 a 6.

a) endométrio
b) folículo ovariano
c) ovócito I
d) ovócito II
e) primeiro glóbulo polar

3. A ovulogênese ocorre no interior do (▬). 3. b

4. O (▬) inicia a primeira divisão da meiose e origina duas células de tamanho desigual. 4. c

5. O revestimento interno do útero, denominado (▬), apresenta grande desenvolvimento durante o ciclo menstrual, preparando-se para receber um eventual embrião. 5. a

6. Os produtos da divisão I da meiose de um ovócito são uma célula grande, o (▬), e uma célula muito pequena, o (▬). 6. d; e

7. "Ao ser eliminado do folículo ovariano, o óvulo encontra-se estacionado na (1) da meiose e somente prossegue a divisão se ocorrer (2)." Qual é a alternativa que substitui corretamente os números 1 e 2 entre parênteses? 7. d

a) 1 = prófase I; 2 = ovulação.
b) 1 = metáfase II; 2 = ovulação.
c) 1 = prófase I; 2 = fecundação.
d) 1 = metáfase II; 2 = fecundação.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 8 a 10.

a) epidídimo
b) glândula seminal
c) próstata
d) túbulo seminífero
e) uretra

8. O processo de espermatogênese ocorre no(a) (▬). 8. d

9. O canal comum ao sistema urinário e ao sistema genital do homem, pelo qual o sêmen é eliminado na ejaculação, é o(a) (▬). 9. e

10. Antes de passarem para os ductos deferentes, os espermatozoides permanecem no(a) (▬), no(a) qual terminam de amadurecer. 10. a

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 11 a 13.

a) estrógeno
b) FSH (hormônio estimulante do folículo)
c) LH (hormônio luteinizante)
d) progesterona
e) testosterona

11. A formação do corpo-amarelo tem como consequência a elevação significativa da taxa de (▬) no sangue, o que inibe a produção das gonadotrofinas hipofisárias. 11. d

12. A ovulação e a formação do corpo-amarelo são induzidas pelo hormônio (▬). 12. c

13. O impulso sexual e o desenvolvimento das características sexuais secundárias são promovidos, na mulher, pelo(a) (▬) e, no homem, pelo(a) (▬). 13. a; e

14. O sangue do feto não se mistura com o sangue materno, mas eles circulam muito próximos nas lacunas de um órgão em que ocorrem trocas de substâncias entre mãe e filho. Qual é esse órgão? 14. b

a) Bolsa amniótica.
b) Placenta.
c) Ovário.
d) Útero.

15. Assim que se fixa no útero, o embrião desenvolve vilosidades coriônicas, que penetram no endométrio e passam a secretar um hormônio que impede a menstruação. Qual é o hormônio liberado? 15. c

a) Estrógeno.
b) Hormônio estimulante do folículo.
c) Gonadotrofina coriônica.
d) Progesterona.

16. Qual é a função da pílula anticoncepcional composta por hormônios sintéticos? 16. d

a) Impedir a formação do endométrio.
b) Induzir a menstruação.
c) Reduzir o impulso sexual.
d) Suprimir a ovulação.

17. Entre os métodos anticoncepcionais a seguir, qual também previne doenças sexualmente transmissíveis (aids, sífilis, gonorreia etc.)? 17. a

a) Camisinha.
b) Diafragma.
c) DIU (dispositivo intrauterino).
d) Pílula anticoncepcional.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Questões para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

18. A sexualidade humana é um assunto polêmico, que envolve tabus e regras de conduta diversas. Lembre-se de que, na área do comportamento sexual, há grande diversidade de práticas e de opiniões. Nossa sugestão é que você organize com seus colegas um grupo de pesquisa para verificar a opinião das pessoas sobre a seguinte questão: o sexo deve sempre ter finalidade reprodutiva? Entreviste diversas pessoas, de diferentes idades e graus de instrução. Anote ou grave suas entrevistas. Discuta o assunto com seus pais, colegas e professores.

19. Observe o esquema e responda aos itens a seguir.

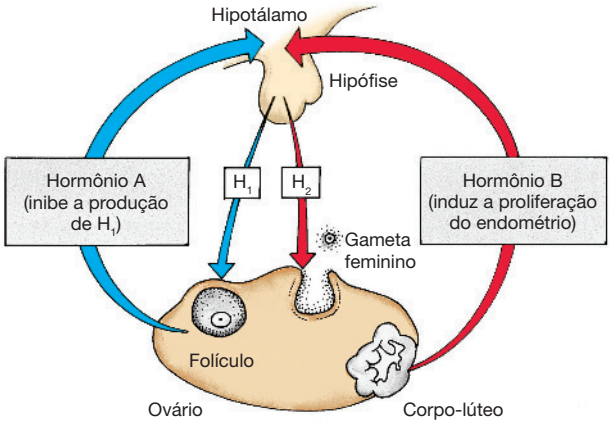


ILUSTRAÇÃO: JURANDIR RIBEIRO

(Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

a) Tendo por base as informações do esquema, identifique os hormônios denominados H_1, H_2, A e B.
b) Que efeitos produz o hormônio H_1?
c) Que efeitos produz o hormônio H_2?
d) Além de inibir a produção de H_1, que outros efeitos o hormônio A tem sobre o organismo feminino?
e) Qual é o efeito do aumento da taxa do chamado hormônio B sobre a produção hormonal da adenoipófise?
f) Qual é o dia aproximado do ciclo menstrual em que está mais elevada a concentração do hormônio H_2 no sangue?

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (Ufam) Na ovulação, o primeiro caminho natural do óvulo, após ser liberado pelo ovário para ser fecundado, é 1. c

a) o colo uterino.
b) a vagina.
c) a tuba uterina.
d) o folículo ovariano.
e) a uretra.

2. (UFRGS-RS) Durante o processo de formação do embrião dos mamíferos, formam-se também vários anexos que, embora não fazendo parte do corpo do embrião, são importantes para o desenvolvimento dele. O anexo responsável pelas trocas gasosas e metabólicas na relação fetomaternal é 2. b

a) a bolsa amniótica.
b) a placenta.
c) o cório.
d) a vesícula vitelínica.
e) o cordão umbilical.

3. (UEL–PR) O esquema a seguir representa etapas do processo de gametogênese no homem.

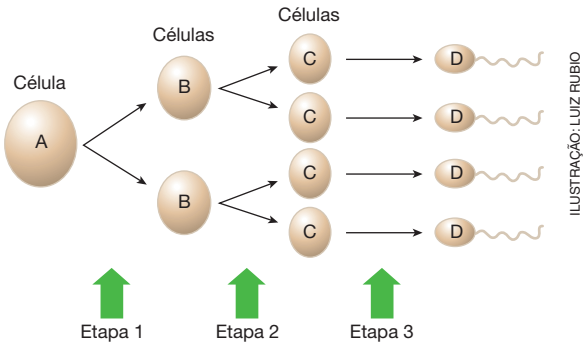


ILUSTRAÇÃO: LUIZ RUBIO

(Esquema simplificado.)

Sobre esse processo, a alternativa correta é: 3. a

a) A célula A é diploide, e as células B, C e D são haploides.
b) A separação dos homólogos ocorre durante a etapa 2.
c) As células A e B são diploides, e as células C e D são haploides.
d) A redução no número de cromossomos ocorre durante a etapa 3.
e) A separação das cromátides-irmãs ocorre durante a etapa 1.

4. (Unir-RO) Comparando-se a ovulogênese (I) com a espermatogênese (II), todas as alternativas abaixo estão corretas, exceto: 4. e

a) Nos dois processos ocorre meiose.
b) Ambos são importantes para manter constante o número de cromossomos típicos de cada espécie.
c) I ocorre nos ovários e II, nos testículos.
d) Há maior produção de gametas em II do que em I.
e) Em I e II, as células formadas são diploides.

Questão discursiva

5. (Fuvest-SP) Durante o desenvolvimento embrionário das aves, o embrião é nutrido graças à grande quantidade de vitelo presente no ovo. Já nos mamíferos o ovo é pobre em vitelo. Como a grande maioria dos embriões de mamíferos consegue obter os nutrientes necessários para seu desenvolvimento?

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Capítulo 12 A diversidade celular dos vertebrados

MAURO FERMARIELLO/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No Instituto de Dermatologia (IDI), em Pomezia, na Itália, o pesquisador Michele de Luca realiza pesquisa que visa à produção de películas epidérmicas a partir do cultivo de células epiteliais humanas em condições apropriadas. Um dos objetivos da pesquisa é utilizar as películas epidérmicas no tratamento de doenças de pele. Na fotografia, o pesquisador segura uma película de tecido epitelial crescida em meio de cultura.

Células-tronco e engenharia de tecidos

"Imagine que a pessoa perdeu um pé. Com o desenvolvimento da engenharia de tecidos, vai ser possível que ela vá a uma clínica e escolha um pé para um implante, ou poderemos escanear o outro pé, desenvolver uma estrutura de pele, músculos, ossos e tendões, semear células retiradas do paciente, desenvolver esses tecidos e fazer a cirurgia para implantar um pé igual ao que ela tinha." Essa é a expectativa do engenheiro Dr. Luís Alberto dos Santos, presidente da Sociedade Latino Americana de Biomateriais e Órgãos Artificiais (Slabo), na matéria publicada pelo jornal *Gazeta do Povo*, em 13 de março de 2012.

"A esperança é que inúmeras doenças, entre elas as neuromusculares, o diabetes, o mal de Parkinson e as lesões de medula, possam ser tratadas pela substituição ou correção de células ou tecidos defeituosos. [...] Se as pesquisas derem os resultados esperados, no futuro será possível fabricar tecidos e órgãos em quantidade suficiente para suprir toda a demanda e acabar com as longas filas para o transplante de órgãos. Do mesmo modo que trocamos peças do nosso carro, poderemos substituir órgãos com defeito ou corrigir sua função. Mas, para chegar lá, ainda temos que pesquisar e estudar muito."

Esse trecho faz parte de um artigo publicado no *site* do Dr. Drauzio Varella e assinado pela geneticista Dra. Mayana Zatz, coordenadora do Centro de Estudos do Genoma Humano, ligado ao Departamento de Genética e Biologia Evolutiva da Universidade de São Paulo.

O que achou dessas duas afirmações? Em ambos os casos, pode-se perceber o grande otimismo dos pesquisadores quanto a futuros tratamentos para problemas de saúde antes incuráveis.

A Dra. Mayana Zatz, conhecida nacionalmente por sua defesa da utilização terapêutica de células-tronco embrionárias, é cautelosa; observe que ela diz: "Se as pesquisas derem os resultados esperados..." e "para chegar lá, ainda temos que pesquisar e estudar muito".

De fato, a Dra. Mayana tem razão. Temos que estudar muito para entender os sistemas biológicos a ponto de interferir positivamente neles, melhorando a qualidade da vida humana. Nessa grande empreitada, cada um tem de fazer a sua parte; e é exatamente o que vamos fazer juntos neste capítulo.

A importância do assunto

Neste capítulo vamos estudar os principais tecidos constituintes do corpo dos animais, com destaque para a espécie humana. Você sabia que, incluindo os tecidos da placenta e dos anexos embrionários, há nada menos que 216 tecidos diferentes em nosso corpo?

O conhecimento detalhado da estrutura e do funcionamento dos organismos, desde as moléculas até os tecidos, tem possibilitado visualizar um futuro otimista para a humanidade, principalmente no tratamento e na cura de inúmeras doenças. Por enquanto, nosso objetivo é entender como surge a grande variedade de tecidos corporais e conhecer algumas de suas características básicas. Esse é o primeiro passo para compreender melhor o funcionamento do corpo humano.

12.1 A diversidade dos tecidos vivos

Às vezes se questiona, dada a alta especificidade e o grau de detalhamento próprios da Histologia, quanto esse assunto é importante no ensino médio. Em nossa opinião, mais do que conhecer nomenclaturas específicas e tipos de tecido, é importante chamar a atenção para o nível de organização tecidual, que faz a integração entre as células e os órgãos.

Animais e plantas são organismos **multicelulares**, ou seja, constituídos por muitas células, cujo número varia de dezenas a trilhões, dependendo da espécie. Os biólogos consideram a passagem da estratégia unicelular para a multicelular um passo muito importante na história evolutiva da vida. Na estratégia multicelular, células resultantes da multiplicação do zigoto permanecem juntas e especializam-se, passando a dividir as tarefas vitais.

Durante o desenvolvimento embrionário de um ser multicelular, as células desenvolvem características particulares e diferenciam-se umas das outras, de acordo com a posição que ocupam no embrião. Esse processo, denominado **diferenciação celular**, é responsável pela formação dos mais de duzentos tipos de tecido constituintes do corpo humano.

Tecidos são conjuntos de células que atuam de modo integrado no organismo multicelular, constituindo **órgãos** corporais. Um órgão é geralmente formado por diferentes tecidos. Por exemplo, o estômago, órgão que faz parte do sistema digestório, apresenta-se constituído pelos tecidos epitelial, muscular, glandular e conjuntivo. Um osso, parte do sistema esquelético, compõe-se principalmente de tecido ósseo e de tecido conjuntivo de revestimento, entre outros.

Há algumas décadas, descobriu-se a existência, em animais e em seres humanos, das **células-tronco**, capazes de se multiplicar e de se diferenciar em qualquer tipo de célula do organismo. Elas desempenham papel nos processos de regeneração corporal e sua descoberta abre novas possibilidades terapêuticas, como foi comentado na apresentação do capítulo.

Apesar da grande variedade de tecidos dos animais vertebrados, os biólogos costumam agrupá-los em apenas quatro grandes categorias: tecido epitelial, tecido conjuntivo, tecido muscular e tecido nervoso.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Ciência e cidadania

A importância das células-tronco

1 Em 1908, o histologista russo Alexander Maksimov (1874-1928) formulou a hipótese de que todas as células do sangue surgiam por diferenciação de células precursoras, que ele denominou células-tronco hematopoiéticas (do grego *hematos*, sangue, e *poiesis*, criação, formação). O termo "célula-tronco" foi utilizado por Maksimov para enfatizar a suposta capacidade dessas células de gerar vários tipos celulares, assim como um tronco de uma árvore gera diversos ramos.

2 Em 1963, os pesquisadores canadenses James Till (1931-) e Ernest McCulloch (1926-2011) demonstraram pioneiramente a existência de células-tronco hematopoiéticas na medula óssea de camundongos. Desde então, inúmeras descobertas sugerem que as células-tronco, por sua capacidade de gerar diferentes tipos de células do corpo, podem ter grande potencial terapêutico na recuperação de órgãos e de partes corporais doentes.

3 O que são células-tronco e como elas surgem em nosso organismo? Para responder a essas questões, vamos voltar ao sexto dia de nossa vida embrionária, quando nos encontrávamos no estágio de blastocisto, fase em que o embrião humano se implanta na parede uterina. O blastocisto contém um conjunto de células – o embrioblasto – que origina todas as células do futuro organismo. As células do embrioblasto são hoje reconhecidas como as verdadeiras células-tronco embrionárias. Elas são totipotentes, pois têm capacidade de se diferenciar em qualquer tipo de célula do organismo.

4 À medida que o embrião se desenvolve, as células-tronco embrionárias diferenciam-se nos diferentes tipos de células, que originam tecidos e órgãos do animal adulto. Entretanto, em certos locais do corpo, algumas linhagens de células continuam a manter características "embrionárias", sendo capazes de se multiplicar e se diferenciar em células de diferentes tipos. Essas são as células-tronco adultas, cuja função é a regeneração do organismo, originando novas células e reconstituindo tecidos eventualmente danificados.

5 As pesquisas têm revelado que há diferentes tipos de células-tronco adultas. No cordão umbilical, por exemplo, há linhagens de células-tronco capazes de originar muitos tipos celulares, o que levou os cientistas a denominá-las de células-tronco pluripotentes.

6 A maioria das células-tronco encontradas no organismo adulto pertence a linhagens capazes de originar um ou poucos tipos celulares, sendo, por isso, denominadas células-tronco multipotentes.

7 O tratamento bem-sucedido de alguns tipos de leucemia pelo transplante de medula óssea tem estimulado os cientistas a pesquisar novas possibilidades terapêuticas das células-tronco – a medula óssea sadia transplantada coloniza o organismo doente com células-tronco hematopoiéticas.

8 Alguns pesquisadores defendem que as células-tronco embrionárias de embriões descartados da fertilização *in vitro* sejam utilizadas em experimentos e em tratamentos médicos. Essa questão ainda desperta muitas polêmicas e esbarra em questões éticas e morais.

Guia de leitura

Responda em seu caderno

1 Leia os dois parágrafos iniciais do quadro e responda: por que as células-tronco receberam esse nome? Explique o que significa o potencial terapêutico das células-tronco.

2 O terceiro parágrafo aborda as células-tronco embrionárias. Por que essas células são consideradas totipotentes?

3 O quarto parágrafo trata das células-tronco adultas. Como elas surgem em nosso corpo e qual é sua função?

4 Leia os parágrafos 5 e 6 do quadro e responda: qual é a diferença entre células-tronco pluripotentes e multipotentes?

5 O parágrafo 7 refere-se ao tratamento da leucemia pelo transplante de medula óssea. Pesquise sobre esse tipo de tratamento e escreva resumidamente a respeito.

6 No oitavo e último parágrafo do quadro, comenta-se o uso de embriões descartados em procedimentos de fertilização *in vitro* em pesquisas científicas. O que você conhece sobre o assunto? Qual é sua opinião a respeito?

12.2 Tecido epitelial

Epitélios de revestimento

O corpo dos vertebrados mantém-se isolado do meio externo por um tecido especializado em revestir, o **tecido epitelial de revestimento** ou **epitélio de revestimento**. A principal característica desse tecido é ser formado por células firmemente unidas entre si, bem ajustadas (ou células justapostas, como dizem os histologistas). Nos tecidos epiteliais, não há vasos sanguíneos e as células recebem gás oxigênio e nutrientes por difusão a partir de tecidos conjuntivos próximos. Os epitélios de revestimento estão presentes na superfície externa do corpo, nas superfícies externa e interna de órgãos e em diversas cavidades corporais. A união firme e íntima das células epiteliais, que não deixa espaços entre si, faz dos epitélios barreiras eficientes contra agentes invasores e impedem a perda de líquidos corporais.

Os tecidos epiteliais podem apresentar células de diversos formatos (prismáticas, achatadas etc.) e uma ou mais camadas celulares, características usadas pelos cientistas como critério para sua classificação. (Tab. 12.1 e Fig. 12.1)

TABELA 12.1 CLASSIFICAÇÃO DOS EPITÉLIOS DE REVESTIMENTO

Critérios	Nome	Características
Número e aparência das camadas celulares	Simples ou uniestratificado	Uma única camada de células
	Estratificado	Mais de uma camada de células
	Pseudoestratificado	Uma única camada de células, com núcleos em diferentes alturas
Forma das células	Pavimentoso	Células achatadas
	Cúbico	Células cúbicas
	Prismático	Células prismáticas alongadas
	De transição	Células arredondadas que se tornam achatadas quando submetidas a estiramentos

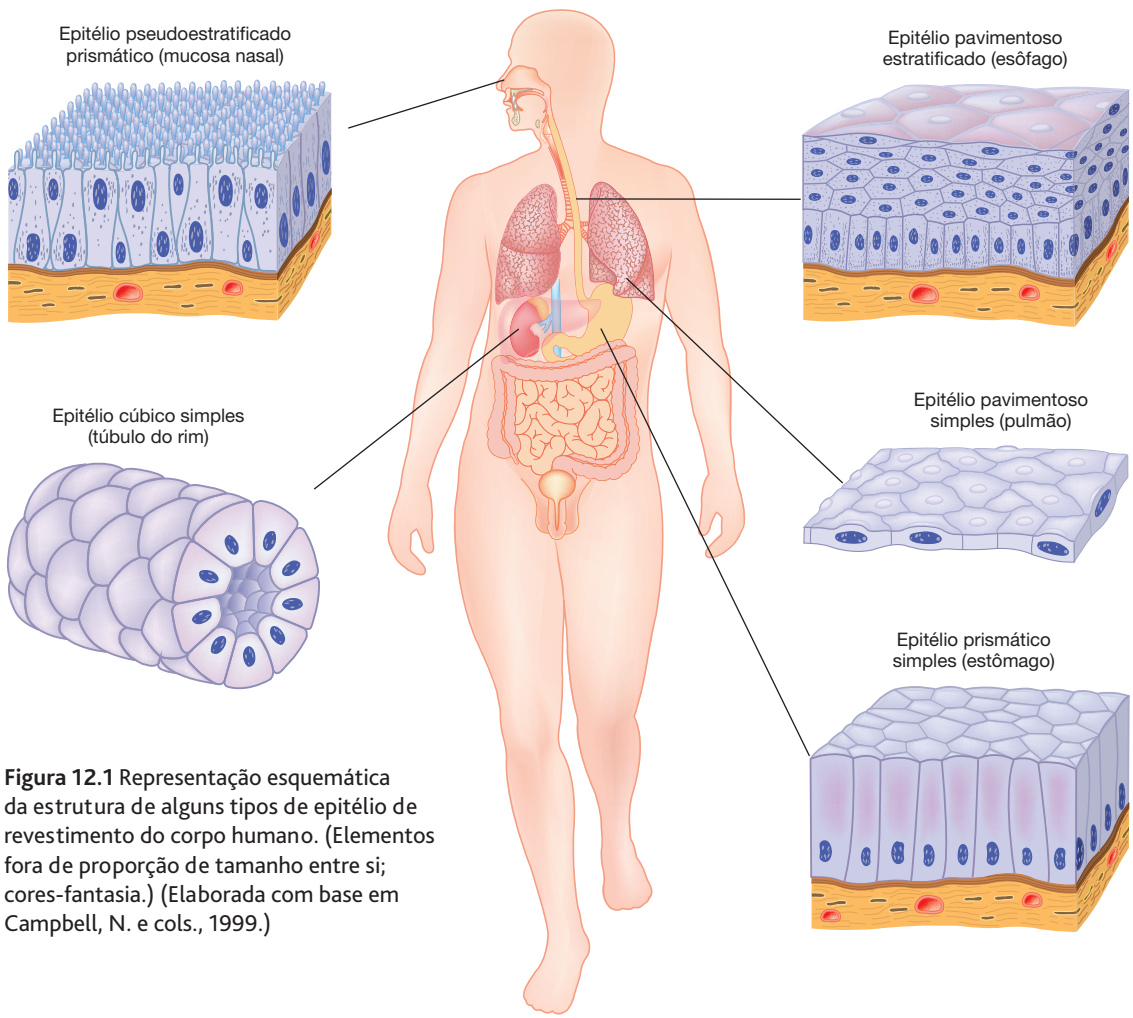


Figura 12.1 Representação esquemática da estrutura de alguns tipos de epitélio de revestimento do corpo humano. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

ILUSTRAÇÕES: CANÇADO

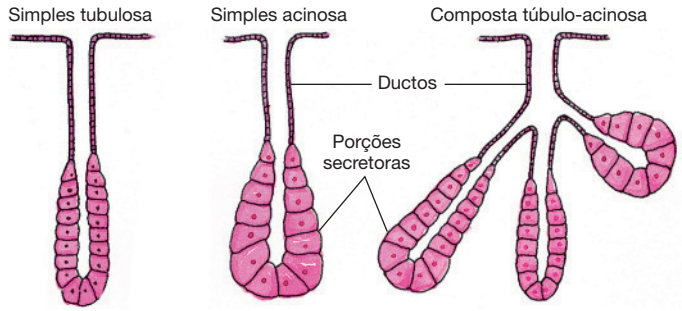
Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Epitélios glandulares

O **epitélio glandular** constitui as glândulas, cujas células são especializadas na **secreção celular**, que é a eliminação, pela célula, de substâncias úteis ao organismo em diversos aspectos.

Quanto à forma de secretar, as glândulas são classificadas em dois tipos básicos: exócrinas e endócrinas.

Glândulas exócrinas (do grego *exos*, fora, e *krinos*, secretar) apresentam **ductos**, ou seja, canais pelos quais eliminam as secreções para fora do corpo ou para cavidades de órgãos. Exemplos de glândulas exócrinas são as glândulas sudoríparas, que eliminam o suor na superfície da pele, e as glândulas salivares, que eliminam a saliva na cavidade bucal. (Fig. 12.2)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 12.2 Representação esquemática de três tipos de glândulas exócrinas. Se a porção secretora tem forma de tubo, a glândula é chamada de tubulosa; se a porção secretora é arredondada, a glândula é chamada de acinosa. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Glândulas endócrinas (do grego *endos*, dentro) não apresentam ductos, eliminando suas secreções, denominadas **hormônios**, diretamente no sangue. A glândula tireóidea, por exemplo, localizada na região do pescoço, produz e libera no sangue os hormônios tiroxina e tri-iodotironina. A glândula hipófise, situada embaixo do encéfalo, secreta no sangue diversos hormônios, entre eles o hormônio de crescimento e os que regulam o ciclo menstrual.

12.3 Tecido conjuntivo

Há tecidos cuja função é unir e sustentar outros tecidos, dando "conjunto" ao corpo, daí sua denominação de **tecidos conjuntivos**. Neles, as células não estão justapostas como no tecido epitelial, mas distribuem-se em um material de consistência gelatinosa e rico em fibras – a **matriz intercelular** – secretado pelas próprias células do tecido conjuntivo.

O principal componente das fibras da matriz intercelular é a proteína denominada **colágeno**, que constitui cerca de 30% das proteínas presentes no corpo humano. Os tipos de células e a composição da matriz intercelular caracterizam os diversos tipos de tecido conjuntivo.

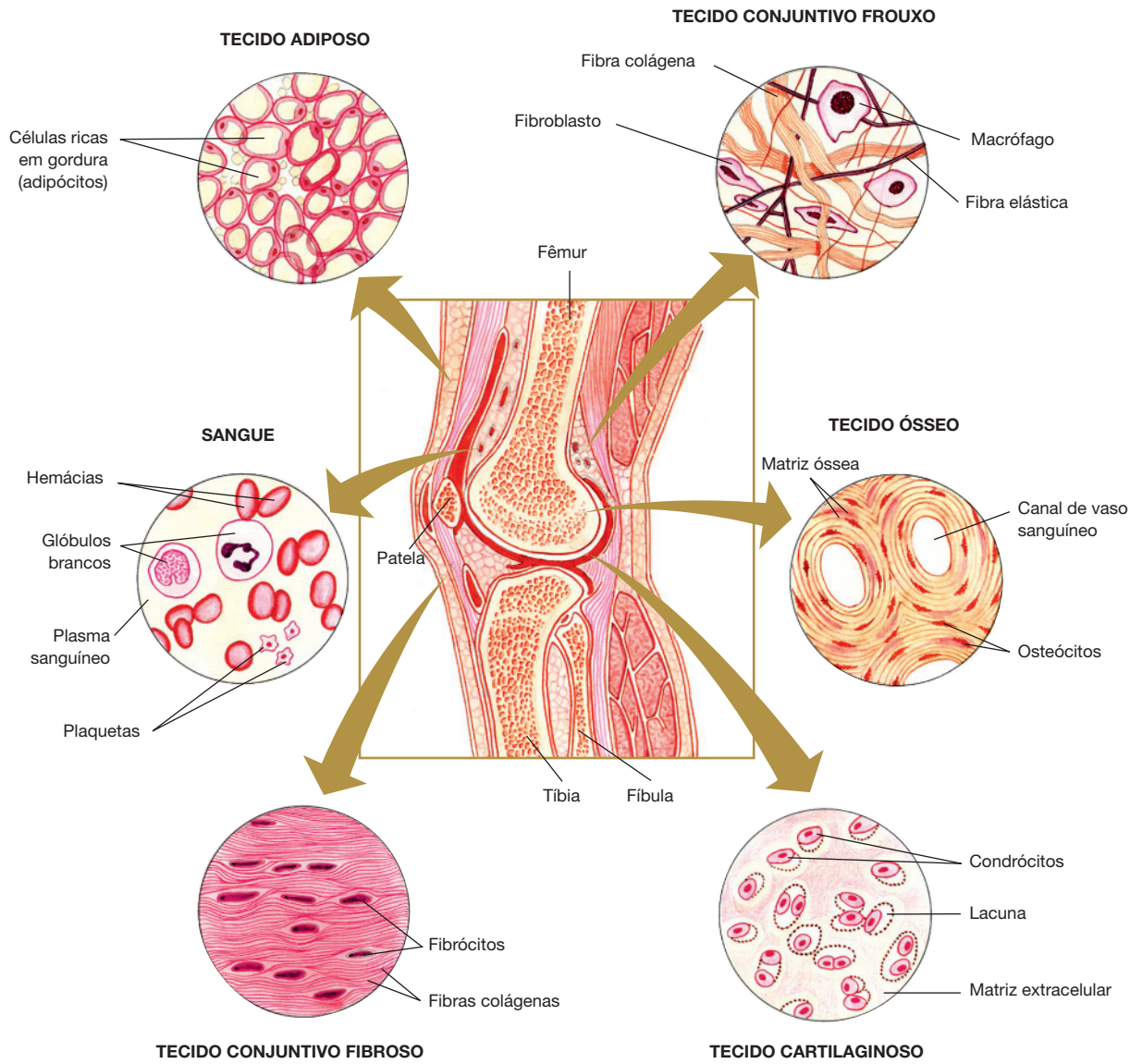
Ao contrário dos epitélios, os tecidos conjuntivos são quase sempre vascularizados, isto é, contêm vasos sanguíneos. O sangue que circula nesses vasos fornece nutrientes e gás oxigênio às células do tecido conjuntivo e às células epiteliais vizinhas. O único tecido conjuntivo sem vascularização interna é o cartilaginoso, como veremos a seguir.

Os tecidos conjuntivos costumam ser classificados em dois grandes grupos: tecidos conjuntivos propriamente ditos e tecidos conjuntivos especiais. (Tab. 12.2 e Fig. 12.3)

TABELA 12.2 CLASSIFICAÇÃO DOS TECIDOS CONJUNTIVOS

Tecido conjuntivo propriamente dito	Frouxo	
	Denso	Denso modelado (ou tendinoso)
		Denso não modelado (ou fibroso)
Tecidos conjuntivos especiais	Adiposo	
	Cartilaginoso	
	Ósseo	
	Hematopoiético (ou hemocitopoético)	

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO

Figura 12.3 Representação esquemática de um corte longitudinal da região do joelho humano, mostrando a localização de diversos tipos de tecido conjuntivo. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) (Elaborada com base em Campbell, N. e cols., 1999.)

Tecidos conjuntivos propriamente ditos

Os **tecidos conjuntivos propriamente ditos** apresentam-se amplamente distribuídos no corpo humano. Suas principais células são os **fibroblastos**, responsáveis pela produção de fibras e substâncias intercelulares, e os **macrófagos**, células grandes e móveis que se deslocam continuamente pela matriz intercelular, fagocitando bactérias e resíduos (relembre a fagocitose no capítulo 5).

Esses tecidos costumam ser divididos em dois tipos: frouxo e denso; este último é subdividido em não modelado e modelado.

O **tecido conjuntivo frouxo**, presente em várias partes do corpo, caracteriza-se por apresentar fibras frouxamente entrelaçadas. Sua função é sustentar tecidos epiteliais vizinhos e preencher espaços entre tecidos e órgãos. Um exemplo desse tecido é a camada papilar da derme, localizada imediatamente sob a epiderme da pele.

O **tecido conjuntivo denso não modelado**, também chamado de **tecido conjuntivo denso fibroso**, tem grande quantidade de fibras proteicas entrelaçadas, que lhe dão resistência e elasticidade. Ele está presente na camada reticular da derme e em cápsulas envoltórias de diversos órgãos internos, como os rins, o baço, o fígado e os testículos, entre outros.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O **tecido conjuntivo denso modelado**, também denominado **tecido conjuntivo denso tendinoso**, tem grande quantidade de fibras colágenas orientadas paralelamente, o que o torna muito resistente e pouco elástico. Esse tecido constitui os **tendões**, que ligam os músculos aos ossos, e os **ligamentos**, que ligam ossos entre si. (Fig. 12.4)

Figura 12.4 A. Fotomicrografia da pele humana. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 10×; cores artificiais.) A epiderme, parte epitelial da pele, é a camada fina e de coloração mais escura na imagem; sob ela, situa-se um tecido conjuntivo não modelado, que constitui a derme. **B.** Representação esquemática do tendão calcâneo, constituído por tecido conjuntivo denso modelado (tendinoso). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.) No círculo, fotomicrografia do tecido tendinoso; note as fibras altamente compactadas. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 195×; cores artificiais.)

Tecidos conjuntivos especiais

Alguns tecidos conjuntivos desempenham funções altamente especializadas, sendo, por isso, chamados de **tecidos conjuntivos especiais**. Exemplos são o tecido adiposo, que armazena gordura, o tecido cartilaginoso, que constitui as cartilagens, o tecido ósseo, que constitui os ossos, e o tecido hematopoiético, que origina as células do sangue. O próprio sangue é considerado um tecido conjuntivo, cujas células estão imersas em uma matriz intercelular líquida, o plasma sanguíneo.

Tecido adiposo

O **tecido adiposo** é um tipo especial de tecido conjuntivo cujas células, os **adipócitos**, especializam-se no armazenamento de gordura. Ele se localiza principalmente sob a pele, constituindo a **tela subcutânea** ou hipoderme.

A principal função do tecido adiposo é reservar energia para momentos de necessidade. Se faltar alimento, as reservas de gordura das células adiposas serão metabolizadas no interior das mitocôndrias, produzindo energia para os processos vitais. Nos mamíferos, principalmente nos que vivem em regiões frias, a camada adiposa constitui um eficiente isolante térmico corporal, que diminui a perda de calor para o ambiente.

Tecido cartilaginoso

O **tecido cartilaginoso** caracteriza-se pela resistência aliada à flexibilidade. Essas características se devem à matriz intercelular rica em fibras colágenas e em materiais consistentes, produzidos e secretados por células denominadas **condroblastos** (do grego *chondros*, cartilagem, e *blastos*, com sentido de célula jovem).

Nas cartilagens completamente formadas, os condroblastos amadurecem e diminuem de tamanho, passando a ser chamados de **condrócitos**. Cada condrócito está confinado a uma lacuna ligeiramente maior que ele, modelada durante a formação da matriz intercelular.

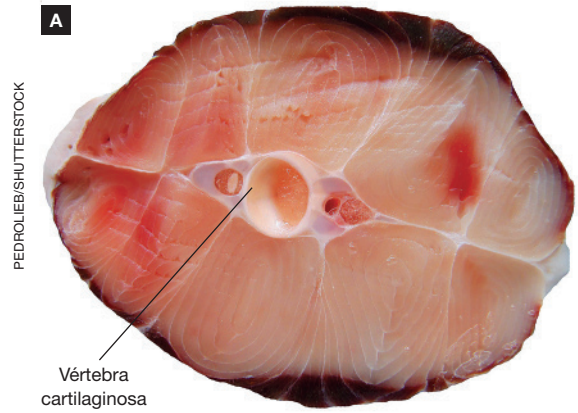
Como o tecido cartilaginoso é avascular, isto é, sem vasos sanguíneos em seu interior, os condroblastos e os condrócitos recebem nutrientes e gás oxigênio de vasos sanguíneos localizados no tecido conjuntivo que envolve a cartilagem, o chamado **pericôndrio** (do grego *peri*, ao redor).

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

No pericôndrio também há células-tronco cartilaginosas, que podem se transformar em condroblastos e permitir o crescimento e a regeneração do tecido cartilaginoso.

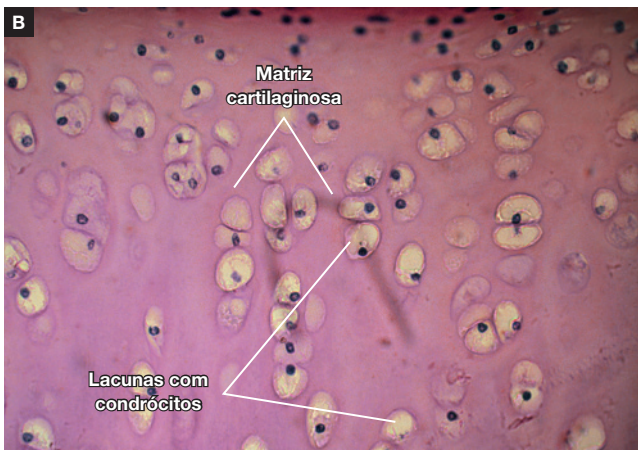
O esqueleto de cações, de tubarões e de arraias é constituído basicamente por tecido cartilaginoso; por isso, esses organismos são denominados peixes cartilaginosos.

Nos outros vertebrados, incluindo a espécie humana, a maioria das cartilagens presentes no estágio embrionário é substituída por ossos. Nos animais adultos, há cartilagens na traqueia, nos brônquios, na laringe, no nariz e nas orelhas, dando sustentação mecânica a esses órgãos. Também há tecido cartilaginoso nas extremidades de certos ossos, o que permite o deslizamento suave de um osso sobre outro nas articulações. Entre as vértebras também há um tipo de tecido cartilaginoso fibroso, que forma os discos intervertebrais, responsáveis pela absorção de impactos sobre a coluna vertebral. (Fig. 12.5)

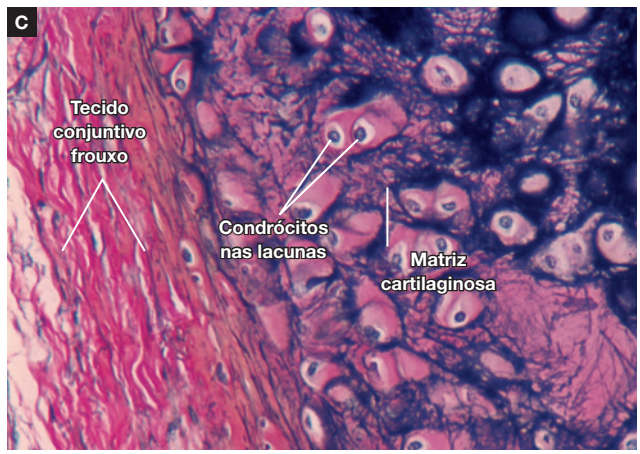


PEDROLIEB/SHUTTERSTOCK

Figura 12.5 A. Posta de cação, em que se vê a vértebra, constituída por cartilagem. **B.** Fotomicrografia de um corte da cartilagem presente na traqueia humana. Note as lacunas na matriz cartilaginosa, nas quais se localizam os condrócitos. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 160×; cores artificiais.) **C.** Fotomicrografia de um corte da cartilagem presente no pavilhão auricular. Na parte esquerda da foto, pode-se ver parte do tecido conjuntivo frouxo que compõe a pele da orelha. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 240×; cores artificiais.)



ERIC GRAVE/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK



BIOPHOTO ASSOCIATES/SCIENCE SOURCE/FOTOARENA

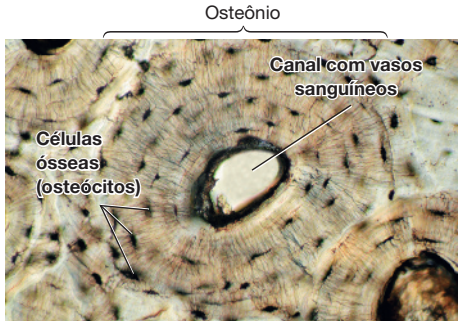
Tecido ósseo

O **tecido ósseo** constitui os ossos, responsáveis pela sustentação mecânica do corpo. A principal característica desse tecido é a matriz intercelular rígida, rica em fibras colágenas e em fosfato de cálcio ($Ca_3(PO_4)_2$), além de íons minerais como magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+). Os cristais de fosfato de cálcio, juntamente com as fibras colágenas, são os responsáveis pela rigidez e resistência dos ossos.

As células que produzem a matriz óssea são chamadas de **osteoblastos** (do grego *osteon*, osso, e *blastos*, com sentido de célula jovem). Cada osteoblasto tem longos prolongamentos citoplasmáticos, que tocam os prolongamentos dos osteoblastos vizinhos. Ao secretar a matriz intercelular ao seu redor, cada osteoblasto acaba confinado em uma pequena câmara individual, ligada a outras pelos canais que circundam seus prolongamentos celulares.

Quando o osteoblasto amadurece e se transforma em **osteócito**, os prolongamentos celulares se retraem e a célula passa a ocupar apenas a lacuna central, deixando vazios os canalículos modelados quando a matriz óssea se formou. Pelos canalículos ósseos circulam fluidos provenientes do sangue, trazendo nutrientes e gás oxigênio para as células ósseas.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.



HERVE CONGE, ISM/SCIENCE PHOTO LIBRARY/LATINSTOCK

Figura 12.6 Fotomicrografia de um corte transversal de osso, mostrando osteócitos e osteônio. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 160×.)

Em certos ossos, os osteócitos dispõem-se em camadas concêntricas ao redor de um canal central – o canal de Havers ou canal harvesiano –, no qual há vasos sanguíneos e nervos. Um conjunto concêntrico de osteócitos e de matriz óssea é o **osteônio**, também chamado de **sistema haversiano**. (Fig. 12.6)

Além de osteoblastos e osteócitos, o tecido ósseo apresenta células denominadas **osteoclastos** (do grego *klastos*, quebrar, destruir). Trata-se de células gigantes e multinucleadas (podem ter de 6 a 50 núcleos), originadas pela fusão de células sanguíneas chamadas monócitos. Os osteoclastos deslocam-se sobre as superfícies ósseas destruindo áreas lesadas ou envelhecidas do osso, possibilitando sua regeneração pelos osteoblastos. Assim, pela atividade conjunta de osteoblastos e osteoclastos, os ossos estão em constante remodelação.

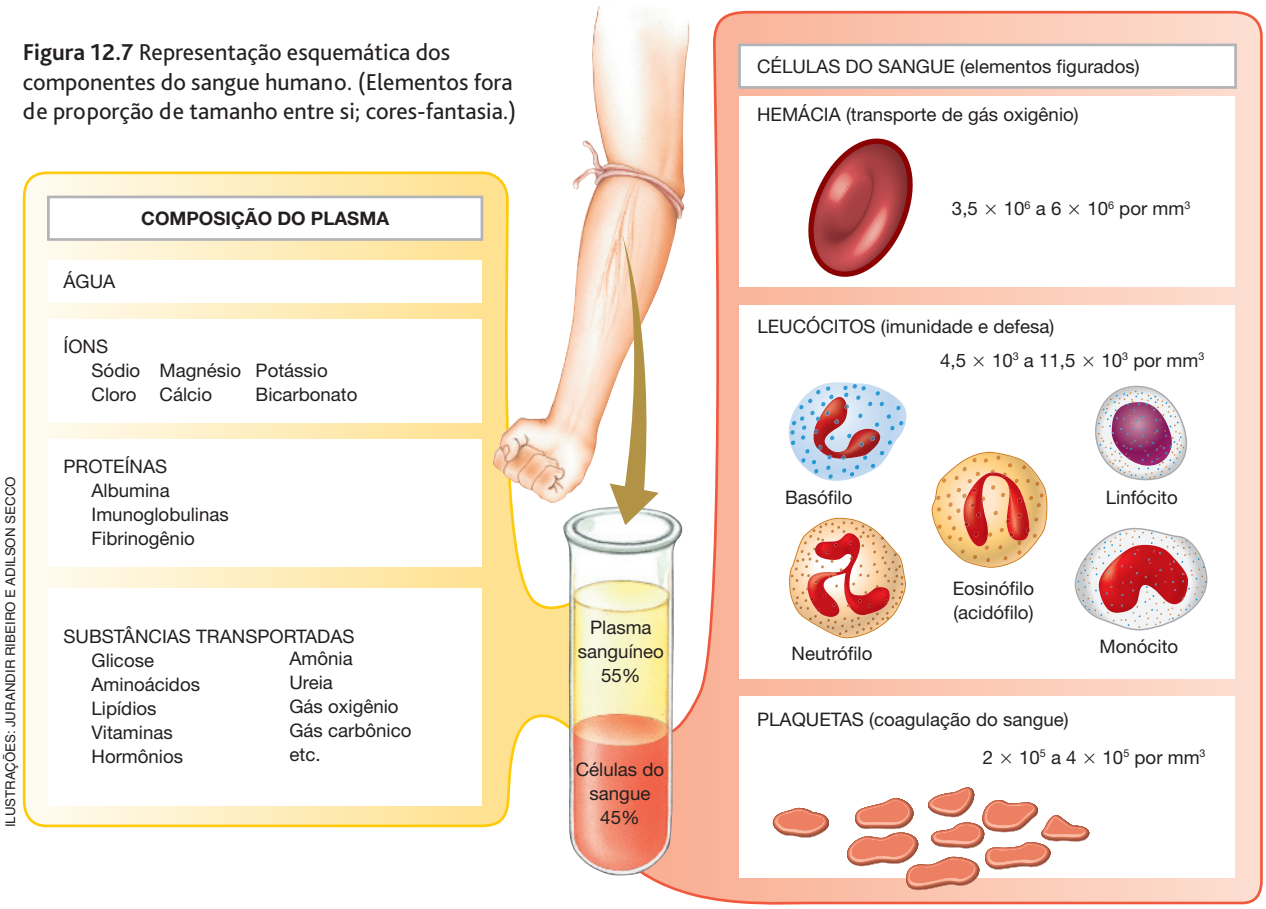
Conhecer melhor o sangue humano é motivador para os estudantes, dada a importância desse fluido vital. A maioria deles já fez ou já viu um exame de sangue, em que são detalhados dados como a porcentagem de hemoglobina nas hemácias, o número de cada tipo de célula sanguínea etc. Se se sentir seguro para comentar com os estudantes alguns dados em um hemograma, isso pode ajudar a valorizar os assuntos tratados na escola.

Tecido hematopoiético e sangue

O **tecido hematopoiético** ou **hemocitopoético** (do grego *hematos*, sangue, *citos*, célula, e *poiese*, origem, formação) está presente na medula óssea vermelha dos ossos e em certos órgãos corporais como o timo, o baço e os linfonodos. Sua função é originar as células do **sangue**, que ficam mergulhadas em uma matriz líquida, o **plasma sanguíneo**, constituída de água, sais minerais e diferentes proteínas. O plasma constitui cerca de 55% do volume do sangue; os 45% restantes devem-se às células sanguíneas – **eritrócitos** e **leucócitos** – e a fragmentos celulares conhecidos como **plaquetas**, importantes na coagulação do sangue.

No corpo de uma pessoa de 70 kg, há pouco mais de 5,5 L de sangue, com aproximadamente 30 trilhões de eritrócitos (também chamados de hemácias ou glóbulos vermelhos), 45 bilhões de leucócitos (glóbulos brancos) e 1,5 trilhão de plaquetas. (Fig. 12.7)

Figura 12.7 Representação esquemática dos componentes do sangue humano. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)



ILUSTRAÇÕES: JURANDIR RIBEIRO E ADILSON SECCO

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

O sangue desempenha importantes funções no organismo dos animais vertebrados: transporta gás oxigênio (O_2) e nutrientes para todas as células do corpo e recolhe gás carbônico (CO_2) e excreções produzidos por elas. Transporta também os hormônios produzidos pelas glândulas endócrinas e protege o corpo contra a invasão de agentes infecciosos, combatendo-os por meio da ação dos glóbulos brancos. (Tab. 12.3)

TABELA 12.3 PRINCIPAIS TIPOS DE ELEMENTOS FIGURADOS DO SANGUE

Nome			Características
Hemácias ou eritrócitos (células vermelhas)			Forma discoidal; sem núcleo; repletas de hemoglobina; transportam gás oxigênio para os tecidos.
Leucócitos	Granulócitos	Neutrófilos	Forma esférica; núcleo trilobado; fagocitam bactérias e corpos estranhos.
		Eosinófilos	Forma esférica; núcleo bilobado; participam das reações alérgicas, produzindo histamina.
		Basófilos	Forma esférica; núcleo irregular; acredita-se que também participem de processos alérgicos; produzem histamina e heparina (anticoagulante).
	Agranulócitos	Linfócitos (B e T)	Forma esférica; núcleo também esférico; participam dos processos de defesa imunitária, produzindo e regulando a síntese de anticorpos.
		Monócitos	Forma esférica; núcleo oval ou riniforme; originam macrófagos e osteoclastos, células especializadas na fagocitose.
Plaquetas (trombócitos)			Forma irregular; sem núcleo; participam dos processos de coagulação do sangue.

12.4 Tecido muscular

A principal característica do **tecido muscular** é a presença de células alongadas e dotadas de alta capacidade de contração, os **miócitos** ou **fibras musculares**. A fibra muscular contrai-se graças ao deslizamento de filamentos das proteínas **actina** e **miosina** presentes no citoplasma.

Há três tipos de tecido muscular: estriado esquelético, estriado cardíaco e não estriado (ou liso). Cada um tem características próprias, adequadas ao papel que desempenha no organismo, como veremos a seguir.

O **tecido muscular estriado esquelético** constitui a maior parte da musculatura corporal dos vertebrados, formando o que chamamos popularmente de "carne". Os músculos estriados esqueléticos ligam-se aos ossos do esqueleto, daí seu nome. A musculatura esquelética é responsável pela ampla gama de movimentos corporais dos animais.

Nesse tecido, as fibras musculares surgem por fusão de inúmeras células precursoras embrionárias, os mioblastos. Cada fibra é multinucleada e pode atingir entre 50 μm e 150 μm de diâmetro, com um comprimento que vai de alguns milímetros a 30 cm.

Os núcleos celulares dispõem-se na periferia da fibra muscular, cuja região central é totalmente ocupada por um conjunto organizado de filamentos de actina e miosina. É a alta organização dessas proteínas que confere às fibras musculares esqueléticas seu aspecto estriado típico, com faixas transversais claras e escuras. A contração muscular, como mencionamos, deve-se ao deslizamento dos filamentos de actina sobre os de miosina, o que faz a fibra encurtar. (Fig. 12.8)

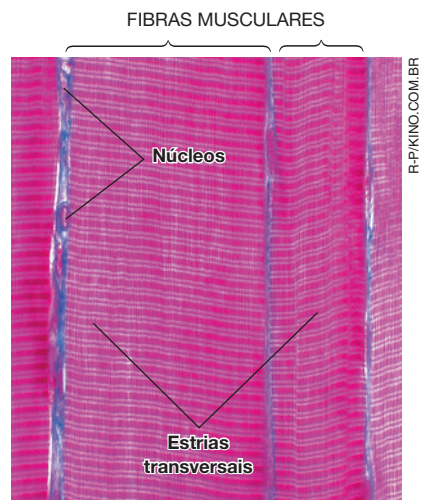


Figura 12.8 Fotomicrografia de fibras musculares estriadas esqueléticas em corte, nas quais se podem ver faixas (estrias) transversais. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 320×; cores artificiais.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

As fibras musculares esqueléticas compõem entre 75% e 90% do volume total dos músculos, sendo o restante formado por tecidos conjuntivos, nervos e vasos sanguíneos.

A contração da musculatura estriada esquelética é voluntária; por exemplo, se você decidir revisar algum assunto no livro, seu sistema nervoso dará ordens aos músculos da mão e do braço para voltar as páginas.

O **tecido muscular estriado cardíaco** está presente apenas no coração. As células do tecido muscular cardíaco, também chamadas de fibras musculares cardíacas, são **uninucleadas**, no que diferem das fibras estriadas esqueléticas (multinucleadas). As fibras musculares cardíacas têm estriação transversal semelhante à das fibras musculares esqueléticas, mas sua contração é involuntária, independente de nossa vontade. (Fig. 12.9)

O **tecido muscular não estriado**, também conhecido por **tecido muscular liso**, está presente em órgãos internos como o estômago, o intestino e o útero, em ductos de diversas glândulas e nas paredes de artérias e veias. Nos órgãos do sistema digestório humano, por exemplo, a contração da musculatura lisa é responsável pelos movimentos peristálticos, que impulsionam os alimentos em seu trajeto pelo tubo digestório. Nas artérias e nas veias, a musculatura lisa contribui para a circulação do sangue e a manutenção da pressão arterial.

O tecido muscular liso é constituído por células alongadas, uninucleadas e sem estriação transversal. Nas fibras musculares lisas, os filamentos de actina e miosina não se organizam no padrão de faixas transversais típico dos tecidos musculares estriados. A contração da musculatura lisa é involuntária, nisso se assemelhando à musculatura cardíaca. (Fig. 12.10)

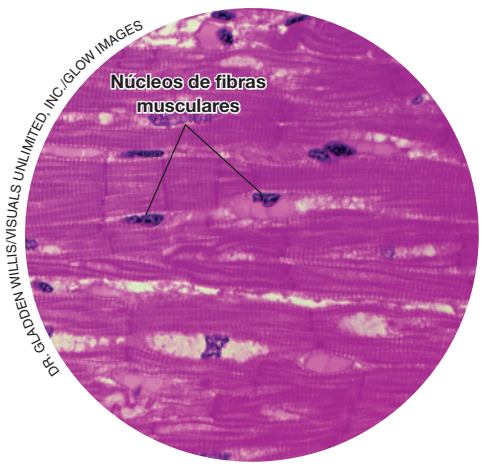


Figura 12.9 Fotomicrografia de tecido muscular estriado cardíaco em corte longitudinal, em que se podem ver fibras com estrias transversais e núcleos celulares. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 680×; cores artificiais.)

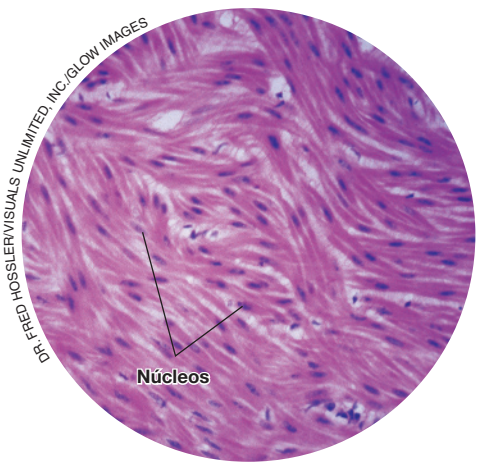


Figura 12.10 Fotomicrografia de corte de tecido muscular não estriado; note a forma das células, com as pontas afiladas. (Microscópio fotônico; aumento ≈ 290×; cores artificiais.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

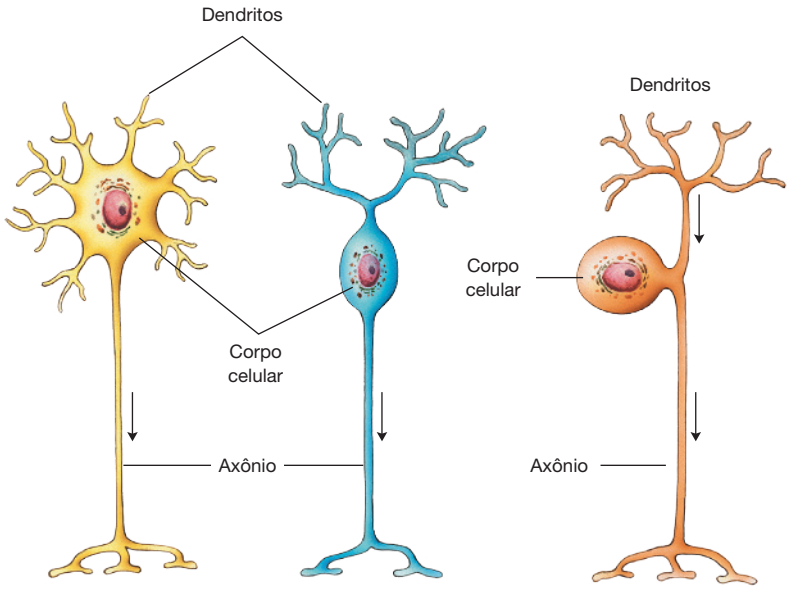
12.5 Tecido nervoso

Este item apresenta neurônios e gliócitos, células formadoras do tecido nervoso. Priorize a compreensão do neurônio como unidade básica da condução do impulso nervoso. Considere a variedade dos tipos de neurônios como exemplo da diversidade celular do tecido. Ressalte o papel e a importância dos gliócitos para o tecido nervoso. Priorize a compreensão dos processos gerais e não a memorização terminológica.

Nos animais vertebrados, o **tecido nervoso** constitui os diversos componentes do sistema nervoso: encéfalo, medula espinal, nervos e gânglios nervosos. As funções do sistema nervoso, entre tantas outras, são: perceber as condições externas e internas ao organismo, elaborando respostas adequadas por meio dos músculos ou das glândulas; coordenar os movimentos corporais; comandar as funções do coração e dos órgãos internos; nos mamíferos, particularmente na espécie humana, coordenar atividades nervosas superiores como a memória, os sentimentos e os pensamentos.

As células componentes do tecido nervoso são os neurônios e os gliócitos. Os **neurônios** são células nervosas especializadas na condução de impulsos nervosos. Eles apresentam uma parte mais volumosa, o **corpo celular**, na qual se localizam o núcleo e a maior parte do citoplasma. Do corpo celular partem prolongamentos citoplasmáticos, genericamente chamados **neurofibras**.

Há dois tipos de neurofibra: o **axônio**, geralmente mais longo, e os **dendritos**, mais curtos e ramificados. A função das neurofibras é conduzir impulsos nervosos, permitindo ao sistema nervoso integrar e coordenar diversas funções corporais. (Fig. 12.11)

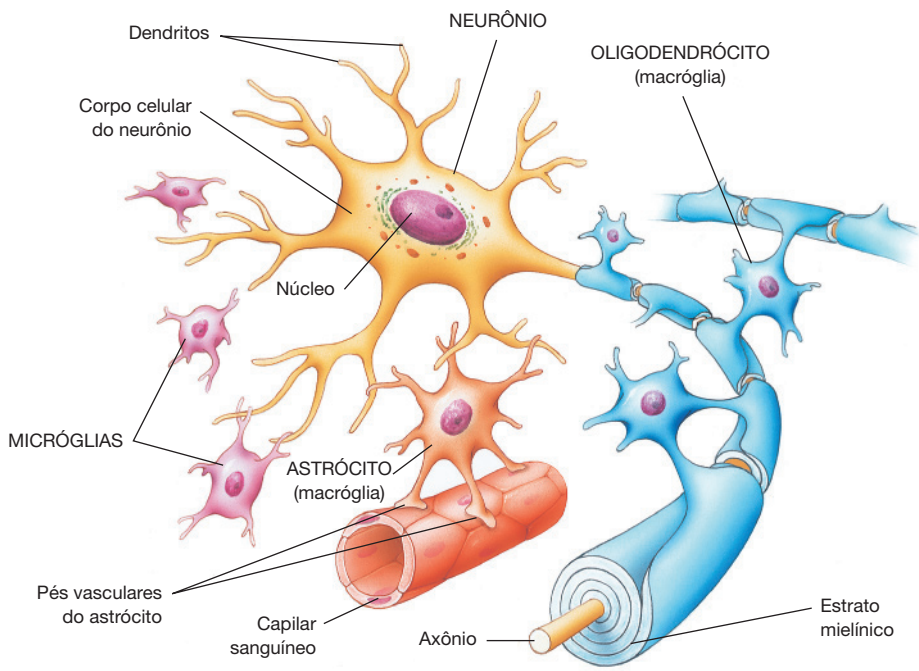


JURANDIR RIBEIRO

Figura 12.11 Representações esquemáticas de tipos de neurônio (as setas indicam o sentido do impulso nervoso). (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Os **gliócitos** ou **células gliais** são células nervosas cuja função é envolver, proteger e nutrir os neurônios. O termo *glia* (em grego, cola) refere-se às funções de união e de sustentação desempenhadas por essas células.

Estudos recentes vêm mostrando que os gliócitos desempenham outras importantes funções, além da sustentação neuronal. Acredita-se, por exemplo, que eles são fundamentais para a comunicação entre os neurônios. Nos primeiros anos de vida, o tamanho do encéfalo humano aumenta basicamente pela multiplicação dos gliócitos, enquanto o número de neurônios permanece praticamente o mesmo (cerca de 86 bilhões) desde o nascimento. Há diversos tipos de células gliais, entre os quais os principais são os oligodendrócitos, as células de Schwann, os astrócitos e as micróglias. Os oligodendrócitos e as células de Schwann formam uma "capa" sobre as neurofibras que constituem os nervos, a chamada **bainha de mielina**, a qual protege e auxilia o funcionamento dos neurônios. (Fig. 12.12)



JURANDIR RIBEIRO

Figura 12.12 Representação esquemática de alguns tipos de gliócitos presentes no sistema nervoso central e sua relação com o neurônio. (Elementos fora de proporção de tamanho entre si; cores-fantasia.)

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

ATIVIDADES

Revendo conceitos, fatos e processos

Registre em seu caderno

1. Diferenciação celular é 1. a
a) a especialização das células durante o desenvolvimento.
b) a fixação do blastocisto no útero.
c) sinônimo de desenvolvimento embrionário.
d) sinônimo de fecundação.

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 2 a 5.
a) epitélio de revestimento
b) epitélio glandular
c) glândula endócrina
d) glândula exócrina

2. O(A) ([redacted]) caracteriza-se por ter células justapostas e por sua função de revestir externa e internamente o corpo. 2. a

3. O(A) ([redacted]) caracteriza-se por apresentar ductos para eliminar a secreção. 3. d

4. Por não apresentar ductos, o(a) ([redacted]) elimina as secreções diretamente no sangue. 4. c

5. O(A) ([redacted]) é especializado na secreção de substâncias. 5. b

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 6 a 8.
a) tecido conjuntivo
b) tecido epitelial
c) tecido muscular
d) tecido nervoso

6. O ([redacted]) é constituído por células alongadas e com grande capacidade de contração. 6. c

7. O ([redacted]) é constituído por camadas de células intimamente unidas entre si, especializadas no revestimento corporal e na secreção. 7. b

8. O ([redacted]) é constituído por células especializadas em transmitir impulsos, os neurônios. 8. d

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 9 a 11.
a) tecido cartilaginoso
b) tecido hematopoiético
c) tecido ósseo

9. O ([redacted]) apresenta material intercelular com fibras e uma matriz mineralizada rígida, constituindo o esqueleto de certos animais. 9. c

10. O ([redacted]) é responsável pela formação do sangue. 10. b

11. O ([redacted]) tem a matriz resistente e flexível, com fibras colágenas, e não apresenta vascularização interna. 11. a

Escreva o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 12 a 16.
a) adipócito
b) condroblasto
c) miócito
d) osteócito
e) osteoclasto

12. O ([redacted]) é a célula madura do osso, localizada em uma lacuna da matriz mineralizada. 12. d

13. A célula que forma fibras e material intercelular nas cartilagens é o ([redacted]). 13. b

14. O ([redacted]) é uma célula alongada e constitui o tecido muscular. 14. c

15. O ([redacted]) é multinucleado e atua na regeneração óssea. 15. e

16. O ([redacted]) é uma célula especializada em armazenar gordura. 16. a

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 17 a 19.
a) adipócito
b) condrócito
c) mioblasto
d) osteoblasto
e) osteoclasto

17. A fibra muscular esquelética forma-se a partir da célula denominada ([redacted]) 17. c

18. A célula responsável pela formação do osso é o ([redacted]) 18. d

19. Animais como o urso-polar protegem-se do frio graças a um tecido conjuntivo sob a pele, rico em um tipo de célula denominado ([redacted]). 19. a

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 20 a 25.
a) conjuntivo denso modelado
b) conjuntivo denso não modelado
c) conjuntivo frouxo
d) muscular estriado esquelético
e) muscular estriado cardíaco
f) muscular liso ou não estriado

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

20. O tecido (▬) apresenta grande resistência à tração, sendo encontrado nos tendões e ligamentos. 20. a

21. A matriz intercelular do tecido (▬), entre outros locais, presente na derme, apresenta fibras espaçadas e entrelaçadas, conferindo boa elasticidade e resistência. 21. c

22. O tecido (▬) constitui-se de longas fibras multinucleadas, com estriação transversal. 22. d

23. Órgãos internos como o estômago e o útero contraem-se graças à presença do tecido (▬). 23. f

24. O tecido (▬) tem células uninucleadas e dotadas de estriação transversal e contração involuntária. 24. e

25. A cápsula que reveste órgãos como o testículo e os rins é constituída por tecido (▬) 25. b

Escreva, em seu caderno, o termo abaixo que substitui corretamente a tarja entre parênteses das frases de 26 a 30.

a) fibroblasto
b) gliócito
c) macrófago
d) neurofibra
e) plaqueta

26. O(A) (▬) faz parte do tecido nervoso, envolvendo e nutrindo os neurônios. 26. b

27. Por meio da fagocitose, o(a) (▬) elimina agentes invasores e detritos presentes no tecido conjuntivo. 27. c

28. O dendrito é um(a) (▬). 28. d

29. A célula responsável pela formação de fibras e material intercelular no tecido conjuntivo propriamente dito é o(a) (▬). 29. a

30. Encontrado(a) no sangue, o(a) (▬) é um fragmento celular relacionado à coagulação. 30. e

Questão para exercitar o pensamento

Registre em seu caderno

31. Definir quando a vida humana tem início é um ponto central na questão de utilizar ou não células-tronco embrionárias em pesquisas e tratamentos de doenças.

Pesquise quais são as posições a respeito desse assunto e suas implicações em relação às questões:

- A vida de uma pessoa tem início com a fecundação?
- A vida se inicia quando o embrião passa a ter o *status* de feto?
- Ou a vida começa no parto, com a primeira respiração autônoma?

Escreva um pequeno texto opinativo sobre o assunto.

A Biologia no vestibular e no Enem

Registre em seu caderno

Questões objetivas

1. (Uece) Entre as principais funções do tecido epitelial, podemos destacar, corretamente, a função de 1. d

a) tração.
b) transporte.
c) preenchimento.
d) secreção.

2. (USJ-SC) O tecido que desempenha as funções de revestimento de superfícies e cavidades, absorção, secreção e percepção sensorial é denominado 2. c

a) muscular.
b) nervoso.
c) epitelial.
d) conjuntivo.

3. (UFC-CE)

Durante a infância e adolescência, a formação óssea se processa a uma velocidade maior que a reabsorção, resultando em um aumento da densidade até que os jovens adultos alcancem, por volta dos 18 anos, o pico da massa óssea.

Scientific American Brasil, p. 84, abr. 2003.

De acordo com o texto, as atividades de formação e reabsorção, responsáveis pelo aumento da densidade óssea, decorrem da ação de dois tipos celulares que são, respectivamente: 3. a

a) osteoblastos e osteoclastos.
b) condroblastos e condrócitos.
c) condrócitos e condroblastos.
d) osteoclastos e osteoblastos.
e) condroblastos e osteoblastos.

4. (UEMS) Tecido de ampla distribuição subcutânea, exercendo funções de reservas de energia, proteção contra choques mecânicos e isolamento térmico. 4. c

a) Epitelial.
b) Conjuntivo cartilaginoso.
c) Adiposo.
d) Conjuntivo ósseo.
e) Muscular.

5. (Acafe-SC)

Pesquisadores da Universidade de Brasília (UnB) estão otimistas com a possibilidade de poderem usar uma **secreção** da **pele** de pererecas no desenvolvimento de drogas no futuro.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sobre as palavras destacadas no texto, é correto afirmar: 5. d

a) A pele é um tecido de revestimento com função protetora e glandular.
b) As células secretoras originam-se do tecido conjuntivo, constituindo as glândulas.
c) As glândulas endócrinas, como é o caso daquelas encontradas na pele da perereca, são providas de canal secretor.
d) A secreção expelida através da pele do animal pesquisado é produzida em glândulas classificadas como exócrinas.
e) As glândulas secretoras da pele do anfíbio originam-se do folheto embrionário denominado mesoderme.

6. (UFMG) Determine a que tecido se referem as características: 6. e

I. células localizadas em lacunas;
II. matriz percorrida por canalículos e constituída de substâncias orgânicas e minerais;
III. canais que contêm vasos sanguíneos e nervos.

a) Cartilaginoso.
b) Conjuntivo propriamente dito.
c) Muscular liso.
d) Nervoso.
e) Ósseo.

7. (PUC-Minas) No processo de ossificação, o papel dos osteoclastos é 7. b

a) promover a deposição de cálcio nas epífises.
b) reabsorver a matriz óssea.
c) revestir o periósteo.
d) reforçar as suturas cranianas.
e) formar, por mitoses, os osteócitos.

8. (UFSC) No tecido conjuntivo, cada um dos elementos realiza funções específicas. Assim, as fibras colágenas orientadas paralelamente e a substância fundamental intensamente mineralizada se caracterizam, respectivamente, pelas funções de 8. b

a) dureza e armazenamento.
b) tração e resistência.
c) defesa e preenchimento.
d) elasticidade e reserva.
e) flexibilidade e tenacidade.

9. (UFPB) Células especializadas patrulham o nosso corpo circulando pelos vasos sanguíneos e linfáticos. Assim que percebem a presença de microrganismos, essas células atravessam a parede dos vasos e invadem os tecidos, fagocitando esses microrganismos, que depois são digeridos pelos seus lisossomos. As células mencionadas são 9. e

a) neutrófilos e linfócitos.
b) neutrófilos e plaquetas.
c) macrófagos e linfócitos.
d) macrófagos e plaquetas.
e) neutrófilos e macrófagos.

10. (Fuvest-SP) Têm (ou tem) função hematopoiética 10. e

a) as glândulas parótidas.
b) as cavidades do coração.
c) o fígado e o pâncreas.
d) o cérebro e o cerebelo.
e) a medula vermelha dos ossos.

11. (UFSCar-SP) Doses intensas de radiação ionizante podem danificar a medula óssea e tornar uma pessoa anêmica. Nesse caso, a razão da anemia é que a medula óssea 11. d

a) é a fonte do iodo necessário à síntese da hemoglobina.
b) é a fonte do ferro necessário à síntese da hemoglobina.
c) é a fonte dos aminoácidos essenciais para a síntese dos anticorpos.
d) contém as células-tronco que se diferenciam em hemácias.
e) contém as células-tronco que se diferenciam em plaquetas.

12. (Unifesp) O tratamento da leucemia por meio dos transplantes de medula óssea tem por princípio a transferência de células-tronco da medula de um indivíduo sadio para o indivíduo afetado. Tal procedimento fundamenta-se no fato de que essas células-tronco 12. e

a) podem ser usadas para a clonagem de células sadias do paciente.
b) não serão afetadas pela doença, já que foram diferenciadas em outra pessoa.
c) secretam substâncias que inibem o crescimento celular.
d) podem dar origem a linfócitos T, que, por sua vez, ingerem os leucócitos em excesso.
e) podem dar origem a todos os diferentes tipos de células sanguíneas.

13. (Uniube-MG) Quando se estuda o tecido nervoso, é frequente que se mencione a célula de Schwann, que vem a ser 13. c

a) um tipo de neurônio sensorial periférico.
b) um tipo de neurônio existente apenas no sistema nervoso central.
c) célula que circunda o axônio de determinados neurônios.
d) as células nervosas dos artrópodes.
e) os neurônios polidendríticos.

Questões discursivas

14. (Vunesp) O que são glândulas endócrinas e glândulas exócrinas? Dê um exemplo de cada tipo.

15. (UFRJ) O encéfalo humano é um dos órgãos que apresentam maior irrigação sanguínea. Isso está relacionado ao fato de suas células demandarem grande quantidade de energia. Explique de que maneira o grande volume de sangue contribui para a produção de energia nas células do encéfalo humano.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Lista de siglas

Acafe-SC – Associação Catarinense das Fundações Educacionais

Cesgranrio-RJ – Fundação Cesgranrio

Enem-MEC – Exame Nacional do Ensino Médio

Fatec-SP – Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo

Fuvest-SP – Fundação Universitária para o Vestibular

PUC-Minas – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (em uso a partir de 2002)

PUC-RJ – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Udesc – Universidade do Estado de Santa Catarina

Uece – Universidade Estadual do Ceará

UEG-GO – Universidade Estadual de Goiás

UEL-PR – Universidade Estadual de Londrina

UEMS – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba

Uerj – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Uespi – Universidade Estadual do Piauí

Ufac – Universidade Federal do Acre

Ufam – Universidade Federal do Amazonas

UFC-CE – Universidade Federal do Ceará

Ufla-MG – Universidade Federal de Lavras

UFMA – Fundação Universidade Federal do Maranhão

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UFMS – Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

UFPA – Universidade Federal do Pará

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UFPel-RS – Universidade Federal de Pelotas

UFPI – Fundação Universidade Federal do Piauí

UFPR – Universidade Federal do Paraná

UFRGS-RS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UFSCar-SP – Fundação Universidade Federal de São Carlos

UFSM-RS – Universidade Federal de Santa Maria

UFU-MG – Fundação Universidade Federal de Uberlândia

UGF-RJ – Universidade Gama Filho

UnB-DF – Universidade de Brasília

Unesp – Universidade Estadual Paulista

Unicamp-SP – Universidade Estadual de Campinas

Unifal-MG – Universidade Federal de Alfenas

Unifap – Universidade Federal do Amapá

Unifesp – Universidade Federal de São Paulo

Unifor-CE – Universidade de Fortaleza

Unigranrio-RJ – Universidade do Grande Rio

Unir-RO – Fundação Universidade Federal de Rondônia (antiga UFRO)

Uniube-MG – Universidade de Uberaba

UPF-RS – Universidade de Passo Fundo

U. São Judas-SP – Universidade São Judas Tadeu

USJ-SC – Universidade São José

Vunesp – Fundação para o Vestibular da Universidade Estadual Paulista

Bibliografia

ALBERTS, B.; DENNIS, B.; LEWIS, V. *Biologia molecular da célula*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

ALVES, R. *Filosofia da ciência*: introdução ao jogo e suas regras. 18. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993.

BRENNAM, R. *Gigantes da Física*: uma história da Física através de oito biografias. Rio de Janeiro: Zahar, 1998.

BRONOWSKI, J. *Ciência e valores humanos*. Trad. Alceu Letal. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: Edusp, 1979. p. 12.

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. *Biology*. 8. ed. Menlo Park (CA): Benjamin Cummings, 2007.

COOPER, G. M. *The Cell*: A Molecular Approach. 2. ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2000.

COPLEY, J. Proof of Life. *New Scientist*, v. 177, n. 2.383, p. 28-31, 2004.

DE DUVE, C. O lisossomo. In: KENNEDY, D. et al. (ed.). A célula viva. Textos do *Scientific American*. São Paulo: Edusp/Polígono, 1969.

DUNBAR, R. I. M. *The Trouble with Science*. Cambridge (MA): The Harvard University Press, 1995.

EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (orgs.). *O que é vida?*: para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 2000.

FOUCAULT, M. *As palavras e as coisas*. São Paulo: Martins Fontes, 1987.

FREIRE-MAIA, N. *A ciência por dentro*. 2. ed. Petrópolis: Vozes, 1992.

GARCIA. S. M. L.; FERNÁNDEZ, C. G. *Embriologia*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

GILBERT, S. F. *Developmental Biology*. 9. ed. Sunderland (MA): Sinauer, 2010.

GOULD, S. J. *Quando as galinhas tiverem dentes*. Lisboa: Gradiva, 1989.

_____. Evolution as fact and theory. *Discover*, n. 2, p. 34-37, 1981.

HARRIS, H. *The Birth of the Cell*. New Haven/Londres: Yale University Press, 1999.

HARRISON, G. A.; WEINER, J. S.; TANNER, J. M.; BARNICOT, N. A. *Human Biology*. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 1977.

HOAGLAND, M.; DODSON, B. *The Way Life Works*. Nova York: Times Books/Random House, 1995.

HOUILLON, C. *Embriologia*. São Paulo: Edgard Blücher/Edusp, 1972.

HUETTNER, A. E. *Fundamentals of Comparative Embriology of the Vertebrates*. ed. rev. Nova York: Macmillan, 1949.

KRUIF, P. *Caçadores de micróbios*. Rio de Janeiro: José Olympio, 1939.

LODISH, H.; BERK, A.; MATSUDAIRA, P.; KAISER, C. A.; KRIEGER, M.; SCOTT, M. P.; ZIPURSKY, S. L.; DARNELL, V. *Biologia celular e molecular*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

MADER, S. S. *Biology*. 8. ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.

MAYNARD SMITH, J. *The Problems of Biology*. Oxford: Oxford University Press, 1986.

MEYER, D. E. (supervisor). *Biological science, a molecular approach*. 4. ed. Lexington: D. C. Heath and Company, 1980.

ORGEL, L. O. The Origin of Life on the Earth. *Scientific American*, v. 271, n. 4, p. 53-61, 1994.

PARECER, S.; AHMADJIAN, V. *Symbiosis*: An Introduction to Biological Associations. 2. ed. Nova York: Oxford University Press, 2000.

PORTUGAL, F. H.; COHEN, J. S. *A century of DNA*. Massachusetts: The MIT Press, 1977.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biologia vegetal*. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.

RAW, I.; MENNUCCI, L.; KRASILCHIK, M. *A Biologia e o homem*. São Paulo: Edusp, 2001.

RAWN, J. D. *Biochemistry*. Burlington: Neil Patterson, 1989.

SCOTT, A. *Piratas da célula*. Lisboa: Edições 70, 1987.

STEBBINS, G. L. *Processos de evolução orgânica*. 2. ed. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos/Edusp, 1974.

VIEYRA, A.; SOUZA-BARROS, F. Teorias da origem da vida no século XX. In: EL-HANI, C. N.; VIDEIRA, A. A. P. (orgs.). *O que é vida?*: para entender a Biologia do século XXI. Rio de Janeiro: Faperj/Relume Dumará, 2000.

VOLGELSTEIN, B.; KINZLER, K. W. The multistep Nature of Cancer. *Trends in Genetics*, n. 9, p. 138-141, 1993.

WOLPERT, L.; VESSELL, T.; LAWRENCE, P.; MEYEROWITZ, E.; ROBERTSON, E.; SMITH, V. *Princípios de biologia do desenvolvimento*. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

ZIMAN, J. *Conhecimento público*. Belo Horizonte/São Paulo: Itatiaia/Edusp, 1979.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

Sugestões de livros, *sites* e vídeos

Módulo 1 A natureza da vida

Impresso

O método científico – como o saber mudou a vida do homem, de Leopoldo de Meis. Rio de Janeiro: Vieira & Lent, 2005.

O livro, escrito na forma de peça com 1 ato e 20 cenas, conta de que modo surgiu a ciência. Descreve fatos importantes, incluindo temas como morte, fome, guerra, doenças, crendices etc., e relata a participação de pessoas como Aristóteles, Ambroise Paré, Roger Bacon, Galileu Galilei, Lavoisier e Marat, mostrando de que forma as descobertas e os avanços da ciência interferiram no curso da vida do ser humano.

A ciência através dos tempos, de Attico Chassot. São Paulo: Moderna, 2004.

O livro aborda o conhecimento humano desde a descoberta e o uso do fogo até algumas das conquistas da ciência e da tecnologia do início deste século. Examina o saber de diversos povos, em diferentes épocas da civilização, até chegar ao nascimento das ciências modernas e contemporâneas. Discute também a questão dos valores éticos da ciência, diante do aumento da capacidade de compreender e transformar a realidade.

Filosofia da ciência, de Alberto Oliva. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.

A obra descreve algumas peculiaridades da ciência e discute quais são os fundamentos de suas técnicas, seus procedimentos de pesquisa e, consequentemente, seus resultados.

Origem da vida, de Hernani L. S. Maia e Ilda V. R. Dias. São Paulo: Livraria da Física, 2010.

O que exatamente caracteriza a vida? Há quanto tempo existe vida na Terra? Terá surgido aqui ou veio de outras partes do Universo? Se ela veio de fora, terá sido por acidente ou servido a um propósito? Teve origem única ou mais de um início? Que limites extremos do ambiente impediriam seu surgimento? Eis algumas perguntas sem resposta unânime ou simplesmente sem resposta, entre as muitas outras formuladas e discutidas nesse livro, acompanhando diferentes épocas do pensamento filosófico e expondo-as à luz das fronteiras atuais da pesquisa científica. O livro mostra ainda o trabalho de especialistas que investigam a vida sob diferentes ângulos e apresentam uma variedade de respostas.

Água — origem, uso e preservação, de Samuel Murgel Branco. São Paulo: Moderna, 2003.

A água faz parte de ciclos e fenômenos próprios do nosso planeta e é indispensável para a preservação da vida na Terra. Esse livro ajuda a conhecer algumas características da água e aponta algumas atitudes e técnicas ao alcance das pessoas para a conservação desse recurso natural.

Internet

Tabela periódica interativa: ordenando o Universo

Tabela periódica interativa que permite conhecer um pouco mais sobre os elementos químicos que estão presentes em tudo o que existe: o vivo e o não vivo, o que vemos e que não vemos. Disponível em: <www.invivo.fiocruz.br/tabela>. Acesso em: abr. 2016.

Vídeos

A origem da vida (*How life began*). History Channel, dir. Luke Ellis, EUA, 2009.

Documentário em 9 capítulos sobre os mistérios da origem da vida, que conta com a participação de diversos cientistas, como Robert Hazen e Marcelo Gleiser. É possível assistir a um trecho da primeira parte em: <www.youtube.com/watch?v=PGyarFWOetw>. Acesso em: abr. 2016.

As 100 maiores descobertas da ciência. Discovery.

Nesse documentário, são listadas 10 dentre as 100 mais importantes descobertas científicas que abrangem as áreas da Biologia, Química e Física. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=X6tNZEMVFBU>. Acesso em: abr. 2016.

History of pasteurization. History Channel.

Documentário em inglês que trata da história da pasteurização. Disponível em: <www.youtube.com/watch?v=0OmWbRKW4K8>. Acesso em: abr. 2016

Módulo 2 Citologia

Impresso

Teoria celular – de Hooke a Schwann, de Maria Alice Brezezinski. São Paulo: Scipione, 1997.

Esse livro mostra o processo histórico-científico que resultou na proposição da teoria celular, finalizando com os desdobramentos dessa teoria. A autora procura contextualizar descobertas e mostrar a importância do aperfeiçoamento de equipamentos e técnicas de pesquisa e da contribuição teórica dos muitos pesquisadores, valorizando inclusive os erros de interpretação, considerando-os, muitas vezes, decisivos na história da ciência.

Internet

Cells alive!

Site com informações sobre as células (em inglês). Disponível em: <www.cellsalive.com/cells/3dcell.htm>. Acesso em: abr. 2016.

Módulo 3 Metabolismo energético

Impresso

Cientistas testam fotossíntese artificial, que pode produzir combustível "verde", de Sabine Righetti. *Folha de S.Paulo*, 24 dez. 2010.

A reportagem relata o trabalho de um grupo de pesquisadores dos Estados Unidos e da Suíça que construíram uma máquina para converter CO_2 e água em carboidratos e oxigênio na presença de clorofila e luz do Sol. Também disponível em: <www1.folha.uol.com.br/ciencia/850582-cientistas-testam-fotossintese-artificial-que-pode-produzir-combustivel-verde.shtml>. Acesso em: abr. 2016.

Internet

O que é neutralização do carbono?, de Isabela Motta Noronha.

A matéria traz um *link* para o infográfico que ilustra o caminho do carbono em um ambiente ecologicamente equilibrado. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/conteudo_254976.shtml>. Acesso em: abr. 2016.

Módulo 4 Reprodução e desenvolvimento

Impresso

Adolescência, de Guila Azevedo. São Paulo: Scipione, 2004.

O livro aborda assuntos de interesse dos adolescentes, como namorar ou ficar, a escolha da profissão, o problema das drogas e a violência, entre outros, para os jovens enfrentarem o difícil caminho em busca da maturidade.

Internet

Para que serve o sexo?, de Jerry Carvalho Borges. *Ciência Hoje*.

O artigo discute as vantagens e as desvantagens das formas sexuada e assexuada de reprodução. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/por-dentro-das-celulas/para-que-serve-o-sexo/?searchterm=partenogênese>. Acesso em: abr. 2016.

Uma casa com três senhores, de Jerry Carvalho Borges. *Ciência Hoje*.

Esse texto aborda a formação de embriões humanos com 69 cromossomos e relata que pesquisadores têm procurado esclarecer como podem se formar e se desenvolver, pelo menos durante algum tempo, embriões e fetos humanos com conjuntos extras de cromossomos. Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/colunas/por-dentro-das-celulas/uma-casa-com-tres-senhores>. Acesso em: abr. 2016.

Reprodução proibida. Art. 184 do Código Penal e Lei 9.610 de 19 de fevereiro de 1998.

SUPLEMENTO PARA O PROFESSOR

APRESENTAÇÃO

Prezado colega

Neste **Suplemento para o professor**, apresentamos esta obra, em três volumes, destinada ao ensino médio. Idealizados como instrumentos de apoio didático a professores e estudantes, os livros têm por objetivo trazer informações e princípios relevantes sobre diversos temas biológicos.

Esta coleção espera atender às diferentes opções de conteúdo adotadas por professores do ensino médio de todo o Brasil. A amplitude dos assuntos tratados procura contemplar os conteúdos tradicionalmente trabalhados pela maioria dos colegas de disciplina. Esperamos que cada professor utilize os volumes de acordo com seu projeto pedagógico, sua disponibilidade e seus recursos.

Ao elaborar a obra, tivemos em mente promover o interesse dos estudantes por temas biológicos fundamentais e integrar a visão científica ao dia a dia. Além disso, ressaltamos a importância das Ciências Biológicas para a humanidade e as expectativas de novas descobertas, que certamente permitirão avanços na qualidade de vida das pessoas.

A seguir apresentamos esta obra didática com algumas sugestões para sua utilização. Essas sugestões podem ser vistas como pontos de partida e exemplos para você aplicar suas estratégias didáticas desenvolvidas em sua experiência como professor. Seu trabalho consiste em formar jovens envolvidos na aventura do conhecimento humano e capazes de pensar e discutir os alcances e as limitações do empreendimento científico. Esperamos que esta obra possa ajudá-lo nesse grande desafio.

Os autores

SUMÁRIO

1. A Biologia no ensino médio 246
2. Características desta obra 248
Organização geral 248
Organização dos capítulos 248
Texto e imagens 248
Ciência e cidadania em destaque 248
Amplie seus conhecimentos 249
Atividades didáticas e avaliação 249
3. Utilização dos capítulos da obra 250
4. Referências bibliográficas 253
5. Sugestões de leitura didático-pedagógica 254
6. Destaques temáticos, habilidades e sugestões para o volume do 1º ano 255

MÓDULO 1 A NATUREZA DA VIDA, 255

Capítulo 1 Biologia: ciência e vida 255
A importância do assunto 255
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 255
Habilidades sugeridas 256
Itens principais 256
Conceitos fundamentais 256

Capítulo 2 Origem da vida na Terra 256
A importância do assunto 256
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 257
Habilidades sugeridas 257
Itens principais 257
Conceitos fundamentais 257

Capítulo 3 Bases moleculares da vida 257
A importância do assunto 257
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 257
Habilidades sugeridas 258
Itens principais 258
Conceitos fundamentais 258

Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 1 258
Leituras complementares para o professor 259

MÓDULO 2 CITOLOGIA, 261

Capítulo 4 A descoberta das células 261
A importância do assunto 261
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 261
Habilidades sugeridas 262
Itens principais 262
Conceitos fundamentais 262

Capítulo 5 Membrana celular e citoplasma 262
A importância do assunto 262
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 262
Habilidades sugeridas 263
Itens principais 263
Conceitos fundamentais 264

Capítulo 6 Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas 264
A importância do assunto 264

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 264
Habilidades sugeridas 265
Itens principais 265
Conceitos fundamentais 265
Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 2 265
Leituras complementares para o professor 266

MÓDULO 3 METABOLISMO ENERGÉTICO, 267

Capítulo 7 Fotossíntese e quimiossíntese 267
A importância do assunto 267
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 267
Habilidades sugeridas 268
Itens principais 268
Conceitos fundamentais 268
Capítulo 8 Fermentação e respiração aeróbica 268
A importância do assunto 268
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 269
Habilidades sugeridas 269
Itens principais 269
Conceitos fundamentais 269
Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 3 269
Leituras complementares para o professor 269

MÓDULO 4 REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO, 270

Capítulo 9 Tipos de reprodução, meiose e fecundação 270
A importância do assunto 270
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 271
Habilidades sugeridas 271
Itens principais 271
Conceitos fundamentais 271
Capítulo 10 Desenvolvimento embrionário animal 272
A importância do assunto 272
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 272
Habilidades sugeridas 272
Itens principais 272
Conceitos fundamentais 272
Capítulo 11 Reprodução humana 273
A importância do assunto 273
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 273
Habilidades sugeridas 273
Itens principais 274
Conceitos fundamentais 274
Capítulo 12 A diversidade celular dos vertebrados 274
A importância do assunto 274
Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo 274
Habilidades sugeridas 274
Itens principais 275
Conceitos fundamentais 275
Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 4 275
Leituras complementares para o professor 275

7. Atividades complementares 277

8. Respostas/Encaminhamentos 286

1 A Biologia no ensino médio

Cada professor tem suas próprias concepções de ensino e aprendizagem, resultantes de sua formação acadêmica, de suas leituras e de suas relações profissionais e sociais, entre outros fatores. É importante refletir continuamente sobre a relação entre a prática em sala de aula e os fundamentos teóricos do processo de ensino-aprendizagem, adequando-os ao dinamismo do mundo contemporâneo.

O Ministério da Educação (MEC) tem apresentado propostas para ajudar o professor a refletir sobre as concepções de ensino e aprendizagem no país. Esse tema é tratado resumidamente no item "Breve histórico" do documento *Parâmetros Curriculares Nacionais* (Brasil, 1997), que comenta a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN; Lei n. 9.394/1996), regulamentada em 1998 pelas Diretrizes do Conselho Nacional de Educação. A LDBEN "estabelece o ensino médio como a etapa conclusiva da educação básica de toda a população estudantil e não mais somente como uma etapa preparatória de outra etapa escolar ou do exercício profissional" (Brasil, 1997, p. 8).

Como consequência da nova lei, o ensino médio passou a constituir a etapa conclusiva da educação básica, que tem como objetivos "preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo do trabalho" (Brasil, 2000, p. 9).

A legislação brasileira tem acompanhado movimentos educacionais de outros países, que veem a formação básica não apenas como preparação para a universidade ou para o mercado de trabalho, mas principalmente como condição para o exercício pleno da cidadania em uma sociedade democrática. O projeto estadunidense de reforma educacional lançado em 1985 pela Associação Americana para o Progresso da Ciência, por exemplo, tem como principal objetivo a alfabetização científica da população daquele país. Esse projeto define a pessoa cientificamente educada como aquela "que tem consciência de que a Ciência, a Matemática e a tecnologia são empreendimentos humanos interdependentes, com poderes e limitações; que compreende conceitos-chave e princípios das ciências; que está familiarizada com o mundo natural e reconhece tanto sua diversidade quanto sua unidade; que utiliza o conhecimento e o modo de pensar científicos com objetivos individuais e sociais" (AAAS, 1990, p. xvii; tradução nossa).

Em 1998, em conformidade com a Lei n. 9.394/1996, o Ministério da Educação criou o Exame Nacional do Ensino Médio (Enem), com a finalidade de avaliar a aprendizagem dos estudantes em todo o país. Em 2009, a modificação do formato do exame — o novo Enem — aproximou-o ainda mais das diretrizes curriculares nacionais. Além de estar afinado com as novas propostas dos *PCN1* (veja a seguir), o novo Enem valoriza conteúdos disciplinares tradicionalmente praticados no ensino médio e permite o uso dos resultados desse exame na seleção de candidatos ao ensino superior.

Em relação ao ensino da Biologia, as orientações contidas nos *Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio* (PCNEM), de 1999, foram complementadas no documento *PCN1*, de 2002, que respondeu a críticas ao documento original, levantadas por muitos educadores. Em 2006, o MEC publicou um novo documento — *Orientações curriculares para o ensino médio* —, elaborado com base em discussões entre equipes técnicas do MEC, Secretarias de Educação, professores, estudantes da rede pública e representantes da comunidade acadêmica. Essas orientações visam fornecer "um instrumento de apoio à reflexão do professor a ser utilizado em favor do aprendizado" (Brasil, 2006, p. 6).

O documento de 2006 reconhece a contribuição do diálogo entre o professor e a escola na prática docente, como se pode ver a seguir.

Os PCN+, propostos como orientações complementares aos PCNEM, apresentam um diálogo direto com os professores e os educadores, tornando menor a distância entre a proposição das ideias e sua execução. O texto reafirma seu compromisso com a necessidade de se articularem as competências gerais com os conhecimentos disciplinares e organiza de forma mais sistemática muitas das propostas pretendidas pelos PCNEM. Nesse sentido, o texto dos PCN+ representou um avanço, pois propõe sugestões de organização de cursos e de aulas, além de múltiplas abordagens sobre os temas da disciplina. O documento apresenta aos professores exemplos de aplicação das propostas previstas nos Parâmetros, além de permitir a criação de novas possibilidades, segundo o perfil do aluno, a realidade de cada escola e de seu projeto político-pedagógico.

(Brasil, 2006, p. 17)

As *Orientações curriculares para o ensino médio* afirmam que:

A escola, ao definir seu projeto pedagógico, deve propiciar condições para que o educando possa conhecer os fundamentos básicos da investigação científica; reconhecer a ciência como uma atividade humana em constante transformação, fruto da conjunção de fatores históricos, sociais, políticos, econômicos, culturais, religiosos e tecnológicos, e, portanto, não neutra; compreender e interpretar os impactos do desenvolvimento científico e tecnológico na sociedade e no ambiente. Trata-se, portanto, de capacitar o educando para interpretar fatos e fenômenos – naturais ou não – sob a óptica da ciência, mais especificamente da Biologia, para que, simultaneamente, adquira uma visão crítica que lhe permita tomar decisões usando sua instrução nessa área do conhecimento.

(Brasil, 2006, p. 20)

As orientações contidas nos documentos oficiais, longe de menosprezar conteúdos científicos específicos, enfatizam sua importância para a compreensão do mundo natural e a formação da cidadania. O grande desafio dos professores de Biologia é utilizar os conteúdos básicos da disciplina como meios para levar o estudante a conhecer os fundamentos e a natureza dos métodos de investigação empregados pela ciência, de maneira a desenvolver uma visão científica do mundo.

A aprendizagem pressupõe a construção ativa de conhecimento por parte do estudante. Nessa visão, conhecimento não é algo que o professor simplesmente transfere para seus alunos, mas é produto da atividade intelectual do estudante, resultante do processamento das novas informações recebidas e de suas conexões com os conhecimentos já consolidados.

O documento *Ciência na escola*: um direito de todos, da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), expressa essa linha de pensamento nos seguintes termos:

O aprendiz precisa tornar-se o principal protagonista na construção e na apropriação do conhecimento. [...] A escola deve propor atividades que envolvam os estudantes na aprendizagem, com temas de seu interesse e que tenham relevância social. [...] Em vez de um ensino descontextualizado, baseado na memorização pura e simples, podem ser introduzidas situações-problema para que os estudantes busquem soluções.

(Unesco, 2005, p. 6)

2 Características desta obra

Organização geral

Esta obra, em três volumes, visa levar os estudantes do ensino médio a conhecer e acompanhar os grandes debates científicos da atualidade.

Cada volume é dividido em módulos, com um número relativamente reduzido de capítulos, visando facilitar o acesso de professores e estudantes aos temas tratados. A divisão em módulos permite visualizar melhor as habilidades e os conteúdos a serem desenvolvidos no bimestre e no ano, permitindo uma decisão mais consciente sobre os temas que poderão ser ampliados ou reduzidos em função do tempo disponível.

O volume 1 apresenta o nível celular de organização da vida, relacionando-o, por um lado, com o nível das moléculas e, por outro, com o nível dos tecidos biológicos. Os principais assuntos tratados nesse volume são: a) características típicas do fenômeno da vida e teorias atuais sobre a origem da vida em nosso planeta; b) estrutura, função e reprodução das células vivas (Biologia Celular) e organização celular dos tecidos animais (Histologia); c) metabolismo energético e processos de obtenção de energia para a vida (fotossíntese e quimiossíntese; respiração e fermentação aeróbica); d) aspectos gerais da reprodução e do desenvolvimento embrionário animal; reprodução humana.

O volume 2 aborda a vida no nível dos organismos, estudando sua diversidade, anatomia e fisiologia. Os principais assuntos tratados nesse volume são: a) noções básicas de Sistemática e classificação biológica; b) estudo sistemático dos principais representantes dos grandes reinos de seres vivos; c) anatomia e fisiologia de vegetais e animais, com ênfase nas plantas angiospermas e no organismo humano.

O volume 3 trata de conceitos e processos mais diretamente relacionados com o nível populacional de organização dos seres vivos, estudando-os sob os pontos de vista da Genética, da Biologia Evolutiva e da Ecologia. Os principais assuntos tratados nesse volume são: a) aspectos históricos e modernos da Genética, de Gregor Mendel até os recentes avanços no conhecimento genético e suas aplicações; b) aspectos históricos e modernos das teorias de evolução biológica, de Darwin à moderna teoria evolucionista, com destaque para a evolução da espécie humana; c) conceitos fundamentais de Ecologia e de Educação Ambiental.

Organização dos capítulos

Texto e imagens

A linguagem empregada na obra procura aliar a precisão conceitual da comunicação científica com a clareza didática. Em algumas situações, foi possível empregar analogias e comparações, exemplificando com assuntos do cotidiano, de modo a tornar conceitos e fenômenos biológicos mais concretos para os estudantes.

As imagens são fundamentais para a compreensão mais ampla dos assuntos e são acompanhadas de legendas que complementam o texto básico. Além de fotografias, há esquemas com comparações didáticas e sínteses conceituais e, nesse caso, é importante levar os estudantes a perceber os elementos em diferentes escalas e o uso de cores-fantasia.

Ciência e cidadania em destaque

Diversos capítulos da obra contém um ou mais quadros denominados "Ciência e cidadania", que destacam a presença das Ciências Naturais em nosso dia a dia e se relacionam à vida

cotidiana e à cidadania. Além de ser utilizados no decorrer do estudo do capítulo, esses quadros também podem servir de introdução ou fechamento dos temas tratados. Para tanto, eles contam com o Guia de leitura, um roteiro que leva o estudante a explorar os assuntos apresentados. Adiante, comentamos aspectos pedagógicos importantes relativos ao emprego desses quadros.

Amplie seus conhecimentos

Vários capítulos incluem também quadros intitulados "Amplie seus conhecimentos", que trazem informações adicionais, curiosidades ou aprofundamentos sobre algum assunto abordado. Por constituírem ampliações do tema básico, podem ser sugeridos aos estudantes como leitura a ser feita em casa, caso disponha de pouco tempo em sala de aula.

Atividades didáticas e avaliação

Um ponto central da atividade de ensino-aprendizagem é a avaliação. No ensino orientado por competências e habilidades, a avaliação vai além da simples atribuição de notas em exames que dão prioridade aos conteúdos. Além dos resultados das tarefas didáticas, o processo avaliativo deve levar em conta também o processo de aprendizagem, ou seja, o caminho percorrido pelos estudantes na aquisição de novos conhecimentos, habilidades e competências. Uma avaliação mais ampla serve tanto para acompanhar a construção de conhecimento pelo estudante como para orientar o professor na tomada de decisões, no decorrer do trabalho pedagógico.

Ao discutir a questão avaliativa, os PCN+ consideram que:

> [...] entre outras características, o processo de avaliação deve:
>
> - retratar o trabalho desenvolvido;
> - possibilitar observar, interpretar, comparar, relacionar, registrar, criar novas soluções usando diferentes linguagens;
> - constituir um momento de aprendizagem no que tange às competências de leitura e interpretação de textos;
> - privilegiar a reflexão, a análise e a solução de problemas;
> - possibilitar que os alunos conheçam o instrumento [de avaliação], assim como os critérios de correção;
> - proporcionar o desenvolvimento da capacidade de avaliar e julgar, ao permitir que os alunos tomem parte de sua própria avaliação e da de seus colegas, privilegiando, para isso, os trabalhos coletivos.
>
> (apud Brasil, 2006, p. 40)

O processo de avaliação deve ser contínuo e não pontual. Além de avaliar o produto da aprendizagem, isto é, os resultados das tarefas didáticas, é importante também considerar o esforço do estudante na realização de tais tarefas, sua interação com o grupo de colegas, seu grau de independência intelectual e seu progresso no decorrer das atividades, entre outros fatores. Ao levar em conta esses múltiplos aspectos do processo de aprendizagem, o professor obterá subsídios para orientar seu próprio trabalho, certificando-se de que os objetivos propostos estão sendo atingidos ou verificando se há necessidade de adequar as metodologias ou de propor novas estratégias didáticas.

As formas de avaliação podem e devem ser variadas. Entre elas, destacam-se: a) provas com questões objetivas, que verificam a apropriação de conceitos e de ligações válidas entre conceitos e fatos; b) questões dissertativas, que demandam reflexão, análise, resolução de problemas e argumentação lógica, tendo por base a rede conceitual desenvolvida; c) seminários, para verificar a capacidade de defender ideias e pontos de vista com base no conhecimento adquirido; d) análise de situações-problema, que avalia a consolidação de conteúdos fundamentais e a capacidade de correlacionar teoria e prática; e) debates sobre temas polêmicos, que permitem o desenvolvimento da consciência crítica, da capacidade argumentativa, da formação ética e de valores pessoais e sociais.

A avaliação deve ser orientada pelas habilidades e competências que se pretendem desenvolver e deve haver transparência nos critérios avaliativos; assim, além de versar sobre o que foi efetivamente trabalhado, ela deve ter objetivos e critérios de correção claros para os estudantes.

Nesta coleção, ao final de cada capítulo há quatro blocos de atividades. O primeiro, denominado "Revendo conceitos, fatos e processos", permite ao estudante avaliar a aquisição de conceitos fundamentais e sua ligação com fatos e processos. O segundo – "Questões para exercitar o pensamento" – propõe questões mais amplas e abrangentes, que levam o estudante a analisar fatos e situações e a aplicar o conhecimento adquirido na solução de problemas. O terceiro – "Faça você mesmo!" – traz sugestões de experimentos, de produção de murais, de matérias jornalísticas ilustradas ou infográficos, entre outras, muitas das quais envolvendo e desenvolvendo as habilidades de trabalho em equipe. Finalmente, o quarto bloco, intitulado "A Biologia no vestibular e no Enem", apresenta questões selecionadas de vestibulares e do Enem para que o estudante, além de se autoavaliar e rever seus conhecimentos, se familiarize com o formato desses exames.

3 Utilização dos capítulos da obra

Modernas correntes pedagógicas elegem dois aspectos importantes a serem considerados no processo de ensino-aprendizagem: competências e habilidades. As primeiras referem-se a capacidades intelectuais, éticas e sociais que os estudantes devem adquirir ou implementar ao estudar os temas. As habilidades, por sua vez, são metas ou objetivos específicos a serem desenvolvidos, guiando o caminho para atingir as competências desejadas no projeto pedagógico. Neste **Suplemento para o professor** apresentamos as principais habilidades e competências utilizadas pelo Enem como referência para a avaliação.

Ao elaborar seu projeto pedagógico – o plano de ensino que determina as competências, habilidades e estratégias que serão desenvolvidas ao longo de um curso –, cada escola e cada professor têm diferentes preferências e se defrontam com diferentes realidades. Assim, a inclusão de um livro didático nesse projeto não implica o compromisso de esgotar completamente seu conteúdo, nem de seguir rigorosamente sua sequência de assuntos. Naturalmente, cada volume desta coleção divide-se em módulos e capítulos encadeados de acordo com prioridades ou pré-requisitos entre os assuntos tratados. Isso não impede, entretanto, que determinados temas sejam abordados mais resumidamente, ou mesmo postergados, a título de informação ou aprofundamento posterior.

Cabe a cada professor selecionar, entre os capítulos da obra e seus conteúdos, aqueles que são mais relevantes para o projeto pedagógico de sua escola. Em relação aos conteúdos praticados no ensino médio, os *PCN1* "reafirmam que os conteúdos e as estratégias de aprendizagem devem propiciar o ensino por competências. Nesse sentido, [...] o ensino da Biologia deve servir como meio para ampliar a compreensão sobre a realidade, recurso graças ao qual os fenômenos biológicos podem ser percebidos e interpretados, instrumento para orientar decisões e intervenções" (Brasil, 2006, p. 21).

Reconhecendo que os principais temas biológicos referem-se à compreensão da vida na Terra, das consequências dos avanços tecnológicos e da intervenção humana, os *PCN1* sintetizam, como referência, seis temas estruturadores:

1. interação entre os seres vivos;
2. qualidade de vida das populações humanas;
3. identidade dos seres vivos;
4. diversidade da vida;
5. transmissão da vida, ética e manipulação gênica;
6. origem e evolução da vida.

(Brasil, 2006, p. 21)

Os *PCN1* esclarecem que:

Não se trata simplesmente de mudar o planejamento para que a ação pedagógica se enquadre nos temas estruturadores, e sim de utilizar esses temas biológicos como instrumentos para que a aprendizagem tenha significado, de forma que o aluno seja capaz de relacionar o que é apresentado na escola com a sua vida, a sua realidade e o seu cotidiano.

Um professor que utilize o livro didático em suas aulas conta com uma sequência já organizada de apresentação dos assuntos. Diante da proposta dos temas estruturadores, e considerando a sua realidade específica, as necessidades de seus alunos, as particularidades de sua escola e região, o professor pode selecionar os temas que são mais significativos e resolver como deverão ser trabalhados de modo a possibilitar situações de aprendizagem a partir das vivências dos alunos.

(Brasil, 2006, p. 21-22)

Ao iniciar uma seção do capítulo, sugerimos ao professor que converse com os estudantes e avalie seus conhecimentos prévios sobre o assunto, sejam eles decorrentes de concepções baseadas no senso comum ou de conceitos aprendidos em ciclos escolares anteriores, que constituem pré-requisitos para a construção e o ancoramento de novos conhecimentos. Ao conversar sobre as habilidades a serem desenvolvidas e discutir as ideias que os estudantes têm a respeito dos temas tratados na seção, o professor poderá detectar mais facilmente os conceitos que exigirão mais discussões e explicações.

A ligação entre o que se aprende na escola e o cotidiano está presente nos capítulos sempre que possível. Os estudantes geralmente ficam mais motivados ao perceber as conexões entre os fatos próximos de sua vida e os conteúdos estudados na escola. Isso fica evidente no interesse que eles manifestam por conteúdos referentes a saúde, higiene, questões sobre reprodução, contracepção e DSTs, por exemplo. Assuntos veiculados pela imprensa podem ser utilizados como instrumentos de problematização de conteúdos. Jornais e revistas costumam ter seções especializadas em Ciências Naturais; é possível estabelecer, na sala de aula, uma rotina para acompanhar notícias de interesse científico, que podem ficar expostas em um mural, por exemplo.

Nesta obra, as relações das ciências da natureza com o cotidiano e com o exercício da cidadania são especialmente destacadas nos quadros "Ciência e cidadania". Cada um deles aborda, em um texto acompanhado de ilustrações, um assunto relacionado ao capítulo. Os parágrafos desse texto são numerados, em função das atividades propostas no Guia de leitura, que se destina sobretudo a mostrar aos estudantes as estratégias para o aprimoramento de sua capacidade leitora.

É consenso entre os professores do ensino médio que muitos estudantes têm dificuldade na leitura compreensiva dos textos escolares. Em geral, eles leem um texto rapidamente, do início ao fim, sem refletir muito sobre o que estão lendo. Ao final, na melhor das hipóteses, têm apenas uma compreensão desconexa das ideias centrais do texto. Em nossa experiência como professores, concluímos que essa é uma das principais razões de a leitura de um texto ser tão desestimulante para muitos estudantes: eles geralmente não compreendem bem o que leem e preferem aguardar por uma aula expositiva, na esperança de que o professor lhes forneça as informações necessárias.

O Guia de leitura dos quadros "Ciência e cidadania" se propõe fazer uma "varredura fina" do texto, parágrafo por parágrafo, estimulando o estudante a descobrir as ideias principais, a empregar conhecimentos prévios sobre o assunto, a emitir opiniões pessoais e a comparar informações de diversas fontes. Além disso, o Guia propõe aos estudantes a produção de textos, bem como a organização de dados em forma de tabelas, desenhos ou gráficos, ajudando-os a sistematizar conhecimentos e a apresentá-los em diferentes linguagens. Esse tipo de atividade possibilita instrumentalizar uma das propostas constantes nas *Orientações curriculares para o ensino médio*:

> Informar e informar-se, comunicar-se, expressar-se, argumentar logicamente, aceitar ou rejeitar argumentos, manifestar preferências, apontar contradições, fazer uso adequado de diferentes nomenclaturas, de diferentes códigos e de diferentes meios de comunicação, são competências gerais, recursos de todas as disciplinas. Por isso, devem desenvolver-se no aprendizado de cada uma delas.
>
> (Brasil, 2006, p. 16)

O professor pode elaborar guias semelhantes aos utilizados nos quadros "Ciência e cidadania" para orientar a leitura de outros textos, tanto do livro didático como de jornais e de revistas de divulgação científica. O mesmo pode ser feito pelos estudantes, que, dessa maneira, poderão, entre outras habilidades, aprimorar sua capacidade leitora.

A integração interdisciplinar é também uma importante estratégia de ensino. Por um lado, professores das diferentes disciplinas complementam informações, trocam ideias e desenvolvem o trabalho em equipe. Por outro, os estudantes percebem mais facilmente as relações entre diferentes fenômenos da natureza ao estudar os mesmos conceitos em diferentes disciplinas. Deve-se considerar a possibilidade de integração interdisciplinar formal ou informal e, se possível, incluir no planejamento de aula ao menos uma atividade desse tipo.

Os *PCN1* apresentam uma argumentação interessante a respeito de interdisciplinaridade:

> Quando na Biologia se fala em energia da célula, na Química, em energia da reação e, na Física, em energia da partícula, não basta que tenham a mesma grafia ou as mesmas unidades de medida. Os três temas são tratados em contextos tão distintos que o aluno não pode ser deixado solitário no esforço de ligar as "coisas diferentes" designadas pela mesma palavra. [...] Alguns conceitos gerais das ciências, como os de unidades e de escalas,

ou de transformação e de conservação, presentes de diferentes formas na Matemática, na Biologia, na Física e na Química, seriam muito mais facilmente compreendidos e generalizados se fossem objeto de um tratamento de caráter unificado, feito de comum acordo pelos professores da área. Com certeza, são diferentes as conotações destes conceitos nas distintas disciplinas, mas uma interpretação unificada em uma tradução interdisciplinar enriqueceria a compreensão de cada uma das disciplinas.

(Brasil, 2002, p. 21)

Por fim, manifestamos nossa expectativa de que os comentários e as sugestões deste item do **Suplemento** auxiliem o professor em suas tarefas. Em alguns casos propomos a execução de atividades complementares, idealizadas para dinamizar o curso de Biologia e para motivar os estudantes. As atividades consistem de sugestões de pesquisas, debates, simulações, teatralizações e aulas práticas, entre outras. Sempre que possível, o professor deve verificar a possibilidade de executar as atividades complementares sugeridas ao fim de cada capítulo.

Algumas atividades de laboratório podem requerer o uso de fogo, álcool e objetos potencialmente perigosos. Nesses casos, sugerimos que as atividades sejam feitas pelo professor e observadas pela turma, evitando, assim, risco à integridade física dos alunos.

4 Referências bibliográficas

AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (AAAS). *Benchmarks for Science Literacy*: Project 2061. Oxford: Oxford University Press, 1993. Disponível em: <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php>. Acesso em: mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais*: introdução aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Brasília: MEC/SEF, 1997. Disponível em: <portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro01.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. *Parâmetros Curriculares Nacionais para o ensino médio*. Brasília: MEC/Semtec, 2000. Disponível em: <portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. *PCN1 ensino médio*: orientações curriculares complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais — Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002. Disponível em: <portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12598:publicacoes&catid=195:seb-educacao-basica>. Acesso em: mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Básica. *Orientações curriculares para o ensino médio*: Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006. v. 2. Disponível em: <portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume _02_internet.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. *Matriz de Referência para o Enem 2009*. Brasília: MEC/Inep, 2009. Disponível em: <portal.mec.gov.br/dmdocuments/matriz_referencia_novoenem.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

UNESCO. *Ciência na escola*: um direito de todos. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001400/140099porb.pdf>. Acesso em: mar. 2016.

5 Sugestões de leitura didático-pedagógica

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

COLL, C. *Psicologia da aprendizagem no ensino médio*. Porto Alegre: Artmed, 2003.

COLL, C. et al. *O construtivismo na sala de aula*. 6. ed. São Paulo: Ática, 2002.

KRASILCHIK, M. *Prática de ensino de Biologia*. 4. ed. São Paulo: Edusp, 2008.

LUCKESI, C. C. *Avaliação da aprendizagem escolar*: estudos e proposições. 15. ed. São Paulo: Cortez, 2003.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB, 1999.

_____. *Aprendizagem significativa*: da visão clássica à visão crítica. 2006. Disponível em: <www.if.ufrgs.br/~moreira/visaoclasicavisaocritica.pdf> Acesso em: mar. 2016.

MORIN, E. *Os sete saberes necessários à educação do futuro*. 4. ed. São Paulo: Cortez/Unesco, 2004.

NOVAK, J. D. *Aprender, criar e utilizar o conhecimento*: mapas conceptuais como ferramentas de facilitação nas escolas e empresas. Lisboa: Plátano Universitária, 2000.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. *Aprendendo a aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

PERRENOUD, P. *Dez novas competências para ensinar*. Porto Alegre: Artmed, 2000.

_____. *A prática reflexiva no ofício de professor*: profissionalização e razão pedagógicas. Porto Alegre: Artmed, 2002.

SANT'ANNA, I. M. *Por que avaliar? Como avaliar? Critérios e instrumentos*. 11. ed. Petrópolis: Vozes, 2005.

WEISSMAN, H. (Org.). *Didática das Ciências Naturais*: contribuições e reflexões. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZABALA, A. *A prática educativa*: como ensinar. Porto Alegre: Artmed, 1998.

_____. *Enfoque globalizador e pensamento complexo*: uma proposta para o currículo escolar. Porto Alegre: Artmed, 2002.

6 Destaques temáticos, habilidades e sugestões para o volume do 1º ano

MÓDULO 1

A natureza da vida

CAPÍTULO 1

Biologia: ciência e vida

A importância do assunto

Nosso principal objetivo neste primeiro capítulo é caracterizar a ciência e enfatizar os papéis da observação, da formulação de hipóteses e da experimentação na produção do conhecimento científico. Ao longo dos capítulos do livro, o professor terá oportunidade de relembrar os conceitos aqui apresentados e ampliá-los, ajudando os estudantes a discutir o papel social da ciência.

Conhecer as bases do pensamento científico e os métodos e procedimentos utilizados pelos cientistas em seu trabalho nos ajuda a reconhecer a importância da ciência no mundo contemporâneo. Para isso, é essencial aprender um pouco sobre a história da ciência e estar informado acerca das atualidades científicas mais relevantes para a humanidade.

O Projeto Genoma Humano, por exemplo, tornou-se um dos ícones da ciência contemporânea. Os estudos dos genomas da espécie humana, de plantas, de animais e de microrganismos já resultaram em muitos conhecimentos novos, alguns com aplicações futuras na melhoria da qualidade da vida humana. E certamente muitos outros resultados positivos deverão surgir nos próximos anos.

Como educadores, nosso desafio é levar os estudantes a compreender a natureza do conhecimento científico, seus alcances e suas limitações, o que os ajudará a formar uma consciência socioambiental, a refletir sobre os acontecimentos atuais e a tomar decisões de interesse pessoal e público.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Na abertura mostramos um diálogo entre duas pessoas, encontrado em um *blog*, sobre a importância e o papel da ciência no mundo contemporâneo. É interessante constatar que assuntos como esses motivam jovens a discutir sua opinião em *blogs*, o que muitas vezes não ocorre em sala de aula. Uma sugestão é trazer para a sala de aula, sempre que possível, questões importantes que estão sendo debatidas pela sociedade. Além de estimular os estudantes, essa medida pode valorizar conhecimentos curriculares específicos que estão sendo desenvolvidos.

Outra sugestão é verificar a possibilidade de integrar os assuntos da apresentação com as disciplinas de História e/ou Filosofia, abordando temas como o Renascimento e a revolução científica. Mesmo integrações não incluídas com antecedência no planejamento escolar anual são bem-vindas. Eventualmente, a partir do sucesso de um trabalho integrado informal, determinadas habilidades e conteúdos poderão ser incluídos no plano de curso da escola para o ano seguinte, trabalhando assim a interdisciplinaridade, um aspecto importante da educação.

Além da importância da ciência, outro aspecto a ser desenvolvido é o procedimento científico. Convém levar os estudantes a perceber que fazer ciência e proceder de forma científica está ao alcance de todos. Pensando em aproximar os estudantes do pensamento científico, vale a pena explorar exemplos acessíveis, como o do bicho da goiaba, tratado no texto, e a experiência com os cotilédones, proposta na seção "Faça você mesmo!".

O acesso aos diversos meios de comunicação e de divulgação tem permitido a popularização cada vez maior da ciência. A facilidade de encontrar artigos sobre diversos temas científicos possibilita, por exemplo, a confecção de um mural de ciências de alta qualidade em sala de aula. Os estudantes ficariam encarregados de pesquisar matérias de interesse em jornais, revistas e *sites*. Outra possibilidade é a produção de um pequeno jornal científico bimestral ou semestral. Hoje, isso é viável graças à popularização dos programas de editoração eletrônica, que muitos estudantes sabem utilizar.

Essas atividades, além de vincular o currículo escolar aos acontecimentos mundiais, estimulam a leitura, a organização e a criatividade dos estudantes, colocando-os a par das atualidades científicas. Constituem também uma boa oportunidade para desenvolver a interdisciplinaridade.

Neste capítulo comentamos como os cientistas comunicam suas ideias e descobertas, submetendo-as às críticas de seus pares. Vale a pena ressaltar a importância das críticas para o desenvolvimento das pesquisas científicas.

A dificuldade em definir vida deve-se à própria complexidade desse fenômeno que se manifesta de muitas formas na enorme diversidade de espécies biológicas. Como a vida não tem um traço distintivo único, mas vários, em diferentes níveis, isso acaba criando tentativas de definições longas e complexas, que tentam abranger todas ou a maioria das características fundamentais à vida. Para entender essas tentativas de definições, é preciso examinar um a um os diferentes conhecimentos envolvidos.

A procura por vida extraterrestre tem levado muitos pesquisadores a se perguntar: o que de fato caracteriza a vida? Como poderemos eventualmente reconhecer um ser vivo se o encontrarmos em corpos celestes fora da Terra?

No item final do capítulo são apresentados os diversos níveis de organização da vida, desde os átomos que compõem os organismos até a biosfera. Ao afirmar que os indivíduos geralmente não vivem isolados, mas interagem entre si e com o ambiente, preparamo-nos para o estudo da Ecologia em momentos posteriores do ensino.

Habilidades sugeridas

- Compreender a ciência como uma realização humana voltada à aquisição de conhecimentos sobre a natureza, com poderes e limitações, e valorizar seu papel na sociedade contemporânea.
- Caracterizar ciência e reconhecer os papéis da observação, da formulação de hipóteses e da experimentação na produção do conhecimento científico.
- Distinguir fato, hipótese e teoria.
- Familiarizar-se com conceitos e procedimentos empregados pelos cientistas e perceber a possibilidade de aplicá-los em situações do cotidiano.
- Identificar e explicar as principais características dos seres vivos, compreendendo as dificuldades dos estudiosos em definir vida.
- Conhecer os diferentes níveis hierárquicos de organização do mundo vivo.

Itens principais

- Fundamentos do pensamento científico e surgimento da Biologia
- Procedimentos em ciência
- A Biologia como ciência

Conceitos fundamentais

- Ciência
- Fato
- Hipótese
- Teoria
- Experimentação
- Biologia
- Células
- Metabolismo
- Reprodução assexuada
- Reprodução sexuada
- Hereditariedade
- Variabilidade genética
- Seleção natural
- Adaptação

CAPÍTULO 2

Origem da vida na Terra

A importância do assunto

A proposta do capítulo é apresentar um resumo articulado da visão científica atual para as origens do universo, da Terra e dos seres vivos. Esses conhecimentos fornecem opções para o estudante refletir sobre si e sobre a humanidade no cenário universal.

Embora ainda existam muitas lacunas no conhecimento sobre a origem e a evolução da vida em nosso planeta, os cientistas já conseguiram relacionar momentos importantes da história geológica da Terra à evolução dos seres vivos.

A maioria dos estudiosos acredita que as substâncias precursoras da vida formaram-se na Terra primitiva por meio de um longo processo de evolução molecular. Mas há também os defensores da panspermia, hipótese segundo a qual as substâncias precursoras da vida (ou mesmo seres vivos) teriam vindo do espaço a bordo de asteroides ou cometas.

A razão de estudar a história da Terra em Biologia é que a vida está intimamente ligada às características físicas, químicas e estruturais do planeta e toda espécie de ser vivo está adaptada às condições do ambiente onde vive. Entender a vida do ponto de vista de sua história permite compreender as semelhanças e as diferenças estruturais e fisiológicas das espécies biológicas, sua distribuição geográfica e as interações que mantêm entre si e com o ambiente; enfim, é a visão histórica e evolucionista da vida que dá sentido aos fatos biológicos.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

A abertura do capítulo trata da curiosidade natural e intrínseca que temos sobre a origem da vida e da espécie humana. Esses temas são bastante motivadores e, em nossa opinião, devem ser discutidos abertamente com os estudantes em um amplo debate de ideias. Hoje, soma-se à discussão uma corrente criacionista que defende a existência de um "desenho inteligente" por trás do universo. É recomendável estar informado sobre isso, pois os estudantes podem levantar o tema em sala de aula e devem ser esclarecidos de que tais ideias não são científicas, pois tentam explicar fatos do mundo natural recorrendo a supostas entidades sobrenaturais.

O tema do capítulo oferece a oportunidade de integração com a disciplina de Física para eventualmente trabalhar conteúdos e atividades interdisciplinares relativos à origem do universo, à teoria do *big bang*, ao surgimento de estrelas e de sistemas solares etc. Ainda que de maneira informal, vale a pena conversar a respeito desses assuntos com seus colegas da disciplina de Física.

O capítulo fornece as bases do pensamento evolucionista para a origem da vida, admitindo-a como um processo natural e compatível com a evolução do universo. É possível discutir com os estudantes os poderes e as limitações da ciência; esta se aplica apenas e tão somente ao mundo natural e não se propõe resolver questões de ordem espiritual, religiosa ou moral, embora possa eventualmente contribuir para essas reflexões.

A polêmica sobre a origem da vida é importante para mudar a concepção dogmática e equivocada sobre a infalibilidade da ciência. Recentemente, por exemplo, um grupo de cientistas ligados às pesquisas espaciais norte-americanas sugeriu que o bombardeio da Terra por grandes corpos celestes devia ser muito intenso logo após a formação do planeta. Segundo essa hipótese, a maior parte da água e dos gases atmosféricos teria sido trazida para a Terra por cometas e asteroides, que também teriam transportado substâncias orgânicas precursoras da vida. Em ciência, não há verdades imutáveis, e o conhecimento está sendo continuamente construído e reconstruído. Esse é um ponto essencial a ser trabalhado com os estudantes.

É conveniente mostrar aos estudantes que a busca pelo conhecimento científico realmente conduz a descobertas importantes para a humanidade. No capítulo, mostramos um exemplo disso: polêmicas e pesquisas sobre a origem dos microrganismos levaram à tecnologia de preservação dos alimentos. Essas aplicações tecnológicas da ciência aparecem ao comentar duas tecnologias derivadas de descobertas científicas: os alimentos enlatados e a pasteurização.

Habilidades sugeridas

- Compreender a visão científica atual sobre as origens do universo, do Sistema Solar, da Terra e dos seres vivos, e reconhecer-se como parte da biosfera.
- Explicar, em linhas gerais, em que consiste a teoria da evolução molecular para a origem dos seres vivos.
- Discutir as evidências atuais que levam à aceitação, pela maioria dos cientistas, da hipótese autotrófica para a origem da vida.

Itens principais

- A origem do universo e do Sistema Solar
- Como surgiu a vida na Terra?
- Ideias modernas sobre a origem da vida

Conceitos fundamentais

- Teoria do *big bang*
- Teoria da biogênese
- Hipótese autotrófica

CAPÍTULO 3

Bases moleculares da vida

A importância do assunto

A aplicação à Biologia dos conhecimentos advindos da Química permitiu reconhecer que a organização e a fisiologia dos seres vivos são determinadas pelos átomos e moléculas que os constituem.

Neste capítulo apresentamos a constituição molecular das principais substâncias que compõem os seres vivos.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Na abertura do capítulo, falamos sobre relações entre Química e Biologia e como o desenvolvimento da Química permitiu grandes avanços e a compreensão de diversos assuntos relacionados à Biologia.

O início do capítulo pretende mostrar aos estudantes que os seres vivos são constituídos por átomos de vários elementos químicos, organizados em diversos tipos de substâncias orgânicas, principalmente glicídios,

lipídios, proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos. Posteriormente, a importância da água e dessas substâncias é mostrada, além de algumas classificações.

É importante mostrar os papéis reguladores, estruturais e energéticos das moléculas abordadas, bem como destacar que os seres vivos precisam de todas elas em determinada quantidade. Ao trabalhar as proteínas, deve ser destacado o papel catalisador das enzimas e as condições necessárias para sua atividade.

Conceitos relativos à Química são necessários para desenvolver temas biológicos, mas recomendamos que o professor de Biologia os utilize de maneira simplificada. Reconhecer que os seres vivos são constituídos de átomos e de moléculas fornece a base para entender a complexidade do fenômeno vida e de seus níveis de organização.

Deve-se sempre ter isso em mente para ajustar o grau de detalhamento dos temas tratados no capítulo à disponibilidade de tempo.

Ao estudarmos as substâncias que compõem os seres vivos, aproximamo-nos do mundo não vivo e tomamos consciência de nossa forte ligação com o passado da Terra. Convém desenvolver com os estudantes a ideia de que descendemos de uma linhagem de moléculas que surgiu há quase 4 bilhões de anos. Esse ponto de vista implica a ideia de que todo o universo evolui e de que nossa espécie é parte integrante dessa evolução. Em certo sentido, estamos em continuidade com o processo iniciado no *big bang*.

Consideramos fundamental estimular nos estudantes esse tipo de reflexão, que ultrapassa o conteúdo da Biologia e da própria ciência, levando-os a refletir sobre aspectos filosóficos da existência humana.

Outro ponto a ser ressaltado é como a busca do conhecimento científico tem proporcionado descobertas relevantes para a humanidade no campo da tecnologia.

Hoje é possível analisar e fabricar substâncias da natureza ou mesmo criar substâncias antes inexistentes. O desenvolvimento da Biologia Molecular tem permitido entender melhor o intrincado jogo das moléculas inerente à atividade vital, o que está abrindo caminho para compreender e tratar inúmeras doenças. Os estudantes devem ser incentivados a refletir sobre o poder da ciência em esclarecer fatos e processos que ocorrem em uma realidade que não podemos visualizar diretamente.

Habilidades sugeridas

- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando os processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.
- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

Itens principais

- Componentes da matéria viva
- Água e sais minerais
- Glicídios e lipídios
- Proteínas, vitaminas e ácidos nucleicos

Conceitos fundamentais

- Átomo
- Sais minerais
- pH
- Glicídio
- Dissacarídio
- Polissacarídio
- Lipídio
- Glicerídio
- Esteroide
- Fosfolipídio
- Carotenoide
- Cera
- Proteína
- Aminoácido
- Ligação peptídica
- Enzima
- Modelo chave-fechadura
- Vitamina
- Ácido nucleico
- DNA
- RNA

Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 1

Competências

- Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas ligadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.
- Entender métodos e procedimentos próprios das Ciências Naturais e aplicá-los em diferentes contextos.
- Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades

- Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos, ou na organização taxonômica dos seres vivos.
- Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando os processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

Leituras complementares para o professor

Capítulo 1 – Biologia: ciência e vida

COUTINHO, F. A.; MARTINS, R. P. Uma ciência autônoma. *Ciência Hoje*, n. 188, p. 65-67, nov. 2002.

Há 200 anos, o estudo dos seres vivos ganhou nome — Biologia — e, com ele, *status* de ciência autônoma. A visão da Biologia, porém, é contestada pelos chamados reducionistas, segundo os quais todo fenômeno biológico poderia ser explicado pelos princípios da Física e da Química.

GLEISER, M. Ciência e moralidade no século 21. *Ciência Hoje*, n. 206, p. 21, jul. 2004.

Esse artigo aborda o dilema ético entre o aprofundamento de novas tecnologias, em particular nas áreas da Genética e da nanotecnologia, e a proibição dessas novidades tecnológicas por parte de alguns governos.

LACEY, H. Perspectivas éticas: o uso de OGMs na agricultura. *Ciência Hoje*, n. 203, p. 50-52, abr. 2004.

O uso de organismos transgênicos, como costuma ocorrer com a introdução de qualquer nova tecnologia, inevitavelmente suscita questões éticas que precisam ser discutidas por toda a sociedade.

LAJOLO, F. M. Alimentos transgênicos: riscos e benefícios. *Ciência Hoje*, n. 203, p. 36-37, abr. 2004.

A desconfiança em relação à segurança dos alimentos transgênicos é comum em diversos países, incluído o Brasil, mas não se baseia em fatos. A discussão sobre o uso desses organismos deve levar em conta o conhecimento existente para proteger o ambiente e a população, mas sem inibir o desenvolvimento da ciência e da tecnologia.

LEPSI, M. C. Semeando interdisciplinaridade: as "ideias-vivas" de Gregory Bateson. *Ciência Hoje*, n. 228, p. 16-21, jul. 2006.

O artigo discute as ideias do biólogo e antropólogo inglês Gregory Bateson (1904-1980), que têm muito a nos ensinar sobre o caminho que leva à interdisciplinaridade.

OLIVEIRA, B. J. Discurso inaugural da ciência moderna. *Ciência Hoje*, n. 217, p. 71-73, jul. 2005.

O artigo celebra os 400 anos da publicação do livro *O avanço do conhecimento*, do filósofo e político inglês Francis Bacon, que lançou as bases para uma reforma radical do conhecimento visando ao progresso social.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2005/217/memoria-discurso-inaugural-da-ciencia-moderna>. Acesso em: mar. 2016.)

SANTOS, C. M. D. Filosofia e ensino de Ciências: uma convergência necessária. *Ciência Hoje*, n. 210, p. 59-61, nov. 2004.

O ensino de Ciências é, em geral, prejudicado pela visão de que o conhecimento científico é um conjunto de invenções e descobertas individuais, profundas e imutáveis. Esse artigo procura mostrar que é possível evitar essa imagem distorcida com a ajuda da história e da filosofia da ciência.

Capítulo 2 – Origem da vida na Terra

BRADLEY, A. S. As raízes mais profundas da vida. *Scientific American Brasil*, n. 92, p. 42-47, jan. 2010.

Análises de fontes termais descobertas no leito marinho sugerem algumas possibilidades para a evolução da vida.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. A geração espontânea. *Breve história da ciência moderna*: das máquinas do mundo ao universo-máquina. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008. v. 2, p. 99-101.

Breve exposição de como alguns pensadores e cientistas reconheciam a teoria de que a vida poderia originar-se a partir de matéria inanimada, evidência colocada em questionamento com o experimento de Francesco Redi no século XVII.

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. Geração espontânea: o debate continua. *Breve história da ciência moderna*: a *belle époque* da ciência. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008. v. 4, p. 133-141.

Com o advento da microscopia, a discussão sobre a geração espontânea seguiu com experimentação em busca de uma verdade que, no século XIX, parecia não chegar a um veredicto definitivo. Um debate importante foi travado entre Pouchet e Pasteur na tentativa de encerrar a questão, mas em vão. No entanto, esse debate mostrou como as visões de mundo dialogam com a experimentação e influenciam a interpretação dos resultados obtidos.

DALMASO, G. Z. L.; PAULINO-LIMA, I. G.; LAGE, C. Astrobiologia: por que uma vida solitária no planeta Terra? *Ciência Hoje*, n. 262, p. 34-39, ago. 2009.

A Astrobiologia dedica-se a investigar a existência de vida em outros pontos do universo, além de estudar a origem, a evolução, a distribuição e o futuro da vida na Terra. Esse artigo mostra o que é a Astrobiologia e tenta compreender como a vida poderia surgir e interagir com o ambiente à sua volta e, talvez, expandir-se além de seu planeta de origem, seja ele qual for.

DAMINELI, A.; DAMINELI, D. S. C. Origens da vida. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, p. 263-284, abr. 2007.

O artigo apresenta um resumo dos principais pontos de discussão sobre a origem da vida e o que a torna possível.

Partindo de diferentes concepções filosóficas e científicas sobre o que seria a vida, o texto revela as investigações de sua origem por registros fósseis, evolução biológica, complexidade dos organismos vivos e sua bioquímica. Ao final, traz uma breve discussão a respeito da investigação de vida extraterrestre.

(Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100022&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: mar. 2016.)

GARROTE FILHO, M. S.; PENHA-SILVA, N. Uma abordagem termodinâmica da vida. *Ciência Hoje*, n. 221, p. 34-39, nov. 2005.

O surgimento de organismos cada vez mais complexos leva a uma aparente contradição: o aumento da variedade em estruturas e reações químicas requer um aumento do nível interno de organização, o que violaria o segundo princípio da termodinâmica, segundo o qual, em qualquer sistema, a desordem tende a aumentar com o tempo. Entretanto, essa aparente contradição pode ser solucionada, como mostra o artigo.

GUIMARÃES, M. Minúsculos, mas de peso. *Pesquisa Fapesp*, n. 193, p. 58-60, mar. 2012.

Na busca por indícios de origens distintas da vida, os pesquisadores continuam vasculhando ambientes onde só bactérias extremófilas podem existir. Fazendo alusão à panspermia, o texto apresenta microrganismos, em especial a bactéria *Deinococcus radiodurans*, que têm se mostrado resistentes a simulações de ambientes interplanetários.

(Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/03/058-060.pdf>. Acesso em: mar. 2016.)

RICARDO, A.; SZOSTAK, J. W. Origem da vida na Terra. *Scientific American Brasil*, n. 89, p. 38-47, out. 2009.

Algumas pistas indicam como os primeiros organismos vivos podem ter surgido da matéria inanimada.

RUMJANEK, F. DNA: motor ou freio? *Ciência Hoje*, n. 219, p. 19, set. 2005.

O artigo propõe um retorno à época em que a célula viva apareceu na Terra. Em dado momento da evolução da célula, surgiu um replicador que se assemelhava, em maior ou menor grau, ao DNA que hoje conhecemos. O autor propõe a discussão de uma ideia polêmica: se, em vez de ser o motor principal da evolução, essa molécula fosse seu freio?

RUMJANEK, F. Entrega em domicílio. *Ciência Hoje*, n. 220, p. 17, out. 2005.

O artigo traz uma análise do autor sobre a síntese de moléculas orgânicas precursoras dos compostos que hoje integram a célula viva. São discutidos estudos do químico estadunidense Stanley Miller, inspirados na ideia do bioquímico russo Alexandr Oparin (1894-1980), de que as moléculas biológicas teriam sido formadas a partir de constituintes da atmosfera primitiva.

SALZANO, F. M. Ciência ou criacionismo? *Ciência Hoje*, n. 215, p. 28-32, maio 2005.

As autoridades educacionais fluminenses optaram por adotar o ensino religioso confessional, em que um dos temas, o criacionismo, entra em choque com a teoria evolucionista da vida, aceita pela Biologia. Tal polêmica é abordada nesse artigo, que mostra como a análise científica dos fenômenos naturais contraria visões de mundo baseadas em mitos, argumentando que o ensino dessas visões é prejudicial aos jovens.

SHAPIRO, R. Uma origem mais simples da vida. *Scientific American Brasil*, n. 62, p. 36-43, jul. 2007.

É improvável que, nos primórdios da vida, tenham surgido moléculas grandes capazes de se autocopiar, como o RNA. Redes de pequenas moléculas, movidas por energia, têm melhores chances de terem sido as iniciadoras da vida.

TEREMZI, H. Golpe fatal na geração espontânea. *Ciência Hoje*, n. 234, p. 58-59, fev. 2007.

O artigo comemora o aniversário de 150 anos da publicação, pelo cientista Louis Pasteur (1822-1895), da descoberta de que organismos microscópicos participam da fermentação. Embora Pasteur seja mais lembrado pelo desenvolvimento da vacina antirrábica ou pelo processo de esterilização, a descrição da ação de microrganismos na fermentação foi certamente um feito notável que pôs fim às ideias equivocadas sobre geração espontânea.

VARELA, M. E. Nossas raízes no espaço. *Ciência Hoje*, n. 251, p. 10-11, ago. 2008.

Teriam os elementos essenciais ao início da vida vindo do espaço? Algumas análises de um meteorito conhecido pelos especialistas sugerem essa possibilidade.

(Disponível em: < http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2008/251/nossas-raizes-no-espaco>. Acesso em: mar. 2016.)

WARMFLASH, D.; WEISS, B. Caminhos da origem da vida. *Scientific American Brasil*, n. 43, p. 32-39, dez. 2005.

Os astronautas podem não ser os únicos viajantes espaciais. O artigo discute como microrganismos ou moléculas pré-bióticas são capazes de "pegar carona" em meteoritos.

Capítulo 3 – Bases moleculares da vida

FASANO, A. Surpresas da doença celíaca. *Scientific American Brasil*, n. 88, set. 2009.

O estado de uma doença potencialmente fatal induzida por alimentos – a doença celíaca – levou à descoberta de um processo que pode tratar outros distúrbios autoimunes.

MUSSATO, S. I.; FERNANDES, M.; MILAGRES, A. M. F. Enzimas: poderosa ferramenta na indústria. *Ciência Hoje*, n. 242, p. 28-33, out. 2007.

As enzimas, substâncias essenciais para promover e acelerar reações químicas no metabolismo de todos os seres vivos, passaram a ser cada vez mais usadas em diversas indústrias. O artigo discute a função dessas substâncias no preparo de alimentos, na produção de medicamentos, cosméticos e celulose e até no desenvolvimento de biocombustíveis.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2007/242/enzimas-poderosa-ferramenta-na-industria>. Acesso em: abr. 2016.)

POMIN, V. H.; MOURÃO, P. A. S. Carboidratos: o novo papel dos açúcares. *Ciência Hoje*, n. 233, p. 24-31, dez. 2006.

Os carboidratos estão presentes no açúcar, nas fibras de uma folha de papel e até na carapaça de um besouro. Essas substâncias também atuam como reserva de energia do corpo. O artigo mostra que os carboidratos têm, além dessas, outras importantes funções biológicas e podem ser usados na Medicina. Um tipo de carboidrato extraído de ouriços-do-mar, por exemplo, tem propriedades que o apontam como substituto do anticoagulante heparina, um dos compostos naturais mais usados como medicamento em todo o mundo.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/banco-de-imagens/lg/protected/ch/233/carboidratos.pdf/view>. Acesso em: abr. 2016.)

RAMOS, C. H. As "damas de companhia" das proteínas. *Ciência Hoje*, n. 244, p. 44-49, dez. 2007.

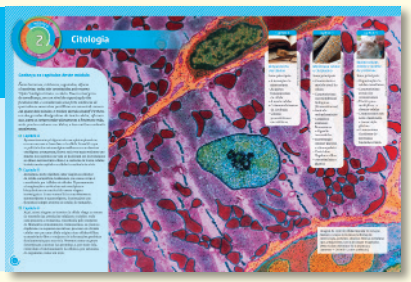
A correta atuação das proteínas em nosso organismo não depende apenas das instruções para sua síntese, contidas nos genes. Cada uma delas passa por um processo logo após sua formação – o "enovelamento" – em que ocorre a conformação espacial específica para determinada tarefa. Esse artigo discute o papel desempenhado nesse processo pelas chaperonas – moléculas que acompanham as proteínas recém-formadas e as ajudam a se enovelar na configuração correta.

TAVERA-MENDOZA, L. E.; WHITE, J. H. Defesas celulares e a vitamina obtida do sol. *Scientific American Brasil*, n. 67, p. 66-73, dez. 2007.

Estaria a deficiência da vitamina D colaborando para o avanço de doenças mais graves? O artigo apresenta como essa vitamina contribui para o fortalecimento dos ossos, entre outras funções.

MÓDULO 2

Citologia



CAPÍTULO 4

A descoberta das células

A importância do assunto

A invenção do microscópio foi condição necessária para a descoberta do mundo das células, mas não foi suficiente. Na verdade, o mundo microscópico intracelular, como todo conhecimento científico, foi "construído" mentalmente, passo a passo, pelas descobertas e contribuições de muitos cientistas. É recomendável discutir esse ponto de vista com os estudantes, levando-os a reconhecer o valor da história e da contribuição coletiva na produção de conhecimento.

Em 1665, Robert Hooke observou ao microscópio que a cortiça era porosa e deu o nome de "célula" a cada orifício microscópico do material. Logo essa denominação passou a ser empregada para designar também o conteúdo fluido das cavidades constituintes das partes vivas das plantas. Passou-se mais de um século e meio até que o conceito de célula fizesse sentido para a Biologia. Apenas no início do século XIX as células foram reconhecidas como constituintes fundamentais dos seres vivos. Surgia, assim, a teoria celular, que tem sido corroborada e ampliada desde então. Estimule os estudantes a responder à questão que fazemos na apresentação do capítulo: "a célula foi 'descoberta' em 1665, quando Hooke visualizou pela primeira vez as cavidades da cortiça, ou quando Schleiden e Schwann propuseram a teoria celular, em 1838-1839?" Na resposta, ficará claro que fatos significam pouco se não fizerem sentido no contexto de uma teoria que os explique.

O capítulo é a porta de entrada para o mundo microscópico. É importante enfatizar que, para descobrir a realidade invisível a olho nu, os cientistas têm recorrido a diversas ferramentas, entre as quais a imaginação é uma das mais poderosas.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Na abertura do capítulo, na qual se inicia o estudo da Citologia, lançamos aos estudantes uma questão que certamente eles já se fizeram: de que são feitos os seres vivos? Discutimos os vários níveis de constituição da matéria, entre eles, os de átomos e moléculas. Os seres vivos, entretanto, quando comparados à matéria não viva,

têm algo a mais: são constituídos de células, pequenos mundos microscópicos nos quais ocorrem as atividades vitais. Nesse ponto, será proveitoso recapitular os níveis de organização biológica estudados no capítulo 1.

A descoberta da célula e a elaboração da teoria celular ressaltam a unidade do mundo vivo e mostram que todos os seres vivos têm várias características em comum. A ideia de que toda célula provém de uma célula preexistente nos leva a refletir sobre a continuidade temporal da vida desde sua origem, evidenciando a evolução biológica e o parentesco entre todos os seres vivos. Recomendamos que os estudantes sejam orientados a interpretar os fatos biológicos à luz da teoria da evolução, que unifica e dá significado à Biologia.

Outro aspecto a ser enfatizado é como a busca do conhecimento científico leva a descobertas importantes para a humanidade. O estudo das células e de sua estrutura interna, por exemplo, tem permitido avanços significativos no campo da Biologia, da Bioquímica e da Medicina, possibilitando estudos, diagnósticos e tratamentos de inúmeras doenças.

Se houver laboratório e instrumentos de microscopia na escola, vale a pena realizar pelo menos uma prática, por exemplo, a observação vital dos tricomas estaminais da trapoeraba-roxa, proposta no quadro "Amplie seus conhecimentos" – *Técnicas em Citologia*. Sugerimos que os estudantes sejam orientados a ler sobre as principais técnicas de microscopia apresentadas nesse quadro e que o professor converse com eles sobre o porquê de cada procedimento.

Considere a possibilidade de integrar o estudo do capítulo com a disciplina de Física, enriquecendo a apresentação dos conceitos de óptica, ampliação e resolução de imagens. Caso os conteúdos não possam ser trabalhados de modo interdisciplinar, as integrações informais e espontâneas obtidas nas conversas sobre o planejamento curricular e em consultas com os outros professores também são úteis para a aprendizagem.

Habilidades sugeridas

- Reconhecer a existência de uma realidade microscópica, que pode ser investigada cientificamente e incorporada às nossas visões e explicações do mundo.
- Conhecer alguns fatos históricos que levaram à formulação da teoria celular e compreender a importância dessa teoria como unificadora dos conhecimentos de Biologia.
- Reconhecer que os vírus não são constituídos de células (são acelulares) e compreender por que isso não invalida a teoria celular nem se opõe a ela.

Itens principais

- A invenção do microscópio
- As partes fundamentais da célula
- A teoria celular
- O desenvolvimento da Citologia
- Células procarióticas e eucarióticas

Conceitos fundamentais

- Microscópio
- Célula
- Membrana plasmática
- Núcleo
- Citoplasma
- Teoria celular
- Citologia

CAPÍTULO 5

Membrana celular e citoplasma

A importância do assunto

Com a evolução da microscopia, aliada às descobertas no campo da Bioquímica Celular, os cientistas podem "visualizar" a célula viva em um novo patamar: o nível nanoscópico. Essa visualização não é feita com os olhos, mas com a mente.

No ambiente celular, há diversas estruturas – as organelas celulares – que criam condições para as interações moleculares necessárias à vida. Graças à nossa capacidade imaginativa, podemos nos transportar como "nano-observadores" para o interior da célula eucariótica, um intrincado labirinto de membranas no qual se deslocam partículas, fibras, túbulos, bolsas membranosas e moléculas de diversos tipos, bem como analisar a estrutura e a função de cada componente celular. Deve-se dar aos estudantes condições para se transportar em pensamento para o interior celular e imaginar as organelas e suas funções na célula viva.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

A abertura do capítulo visa levar os estudantes a pensar em um nível da realidade invisível aos olhos, no qual ocorrem os processos moleculares que definem a vida: o mundo nanoscópico. É esse o mundo das moléculas e das organelas celulares.

Provavelmente, este é o capítulo mais desafiador do volume do primeiro ano, não apenas pela quantidade de informações e conceitos, mas também por exigir dos estudantes um grau de abstração bastante elevado para

entender escalas de grandeza tão diferentes das usadas no cotidiano. É importante não perder de vista a célula como um todo e seu significado como unidade fundamental da vida. Convém conduzir os estudantes na leitura das imagens, fazendo-os perceber as diferentes escalas de tamanho. O primeiro desafio do professor é ajudar os estudantes a compreender como foi (e ainda está sendo) construído o modelo que temos de célula. Esse é o assunto tratado no primeiro item do capítulo.

É importante trabalhar a visão da célula como um microambiente tridimensional, em que se desenrola a trama metabólica da vida. Se no currículo da escola houver a disciplina de Arte, uma sugestão é conversar com o professor responsável por ela sobre a possibilidade de realizar um trabalho integrado e abordar o conceito de célula como um espaço tridimensional, no qual se localizam o núcleo e as organelas. Se a integração não for possível, o próprio professor de Biologia poderá coordenar projetos que trabalhem com modelos tridimensionais de células – produzidos, por exemplo, com objetos do dia a dia (gelatina, frutas, películas plásticas etc.). Essa atividade é proposta para o estudante na seção "Faça você mesmo!" do capítulo.

Outra possibilidade é dramatizar o funcionamento das organelas celulares, atividade que costuma despertar interesse nos estudantes, por favorecer não apenas aprendizado específico, mas também desinibição, expressão corporal e participação criativa no processo de aprendizagem.

O enorme significado biológico da finíssima membrana que separa a célula do meio externo deverá ser bem compreendido pelos estudantes. Se não houvesse um envoltório para impedir a entrada ou a saída de certas substâncias da célula, os primeiros seres vivos não teriam conseguido manter sua individualidade e seu meio interno equilibrado. É difícil imaginar a formação dos primeiros seres vivos sem pensar em seu isolamento do ambiente por uma membrana. Se necessário, as ideias sobre a origem da vida tratadas no capítulo 2 poderão ser retomadas.

Além de trazer progressos para a própria ciência, a compreensão de fenômenos básicos da vida abre caminhos para a produção de tecnologias úteis. A aplicação de princípios da difusão e da osmose à tecnologia médica, por exemplo, tem permitido a construção de rins artificiais, que salvam a vida de muitas pessoas vítimas de doenças renais.

O quadro "Ciência e cidadania", intitulado *Os pequenos lisossomos e seus grandes efeitos*, leva os estudantes a perceber como o conhecimento de uma estrutura tão pequena como uma organela celular pode ser a chave para descobertas importantes nas áreas da saúde humana e da Medicina. Eles poderão responder por escrito às questões do Guia de leitura e, se houver tempo e interesse, as respostas poderão servir de base para uma discussão em classe.

Para otimizar o tempo, uma sugestão é orientar os estudantes a estudar em casa cada uma das organelas celulares, incentivando-os a desenhar e a pensar nas escalas de tamanho. Além disso, eles poderão resumir seus estudos em uma tabela que relacione a estrutura e as funções de cada organela celular.

Habilidades sugeridas

- Reconhecer a existência de uma realidade invisível aos olhos – ao nível dos átomos e das moléculas –, que pode ser investigada cientificamente e incorporada às nossas visões e explicações de mundo.
- Reconhecer que, embora diferentes, os diversos tipos de células apresentam algumas características básicas em comum.
- Compreender que o pensamento e a imaginação, aliados às técnicas microscópicas e bioquímicas de investigação, são as principais ferramentas utilizadas nos estudos das células, que nos permitem compor os modelos tridimensionais.
- Conhecer a composição molecular básica da membrana plasmática, compreendendo o significado do modelo do mosaico fluido, que explica sua estrutura e propriedades.
- Compreender a célula como uma entidade tridimensional, no interior da qual há diferentes estruturas que funcionam de forma integrada para a manutenção da vida celular.
- Valorizar os estudos detalhados sobre o interior da célula viva, reconhecendo-os como possíveis geradores de conhecimentos e de tecnologias úteis à humanidade, entre elas as relacionadas à saúde humana.
- Identificar, em esquemas e fotomicrografias, diferentes partes das células, tais como: membrana plasmática, citosol, retículo endoplasmático, complexo golgiense, mitocôndria, plasto, centríolo, cílio e flagelo.
- Associar corretamente a estrutura de organelas celulares às respectivas funções.

Itens principais

- Construindo o modelo atual de célula
- Características das membranas biológicas (biomembranas)
- Retículo endoplasmático
- Complexo golgiense
- Lisossomos e digestão intracelular
- Sustentação celular: paredes e citoesqueleto
- Centríolos, flagelos e cílios
- Mitocôndrias e plastos

Conceitos fundamentais

- Membrana plasmática
- Difusão
- Osmose
- Endocitose
- Exocitose
- Pinocitose
- Fagocitose
- Retículo endoplasmático
- Citosol
- Ribossomos
- Complexo golgiense
- Secreção celular
- Lisossomos
- Parede celular
- Citoesqueleto
- Centríolo
- Flagelo
- Cílio
- Mitocôndria
- Cloroplasto

CAPÍTULO 6

Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

A importância do assunto

Nossa viagem ao interior das células chega a um ponto culminante: o núcleo celular, que contém informações codificadas para controlar o desenvolvimento e o metabolismo da célula viva.

No capítulo são trabalhados conceitos importantes relativos ao núcleo celular e a seus principais componentes – os cromossomos –, nos quais se localizam os genes. Os estudantes devem ser estimulados a exercitar a imaginação para visualizar a transição da estrutura nanométrica do cromossomo, constituído por uma única molécula de DNA associada a moléculas de proteínas, até o nível do cromossomo condensado, estrutura visível ao microscópio fotônico.

O estudo do papel dos cromossomos esclarece algumas das incríveis adaptações da célula para se reproduzir e transmitir todos os genes nucleares às células-filhas. Ao compreender a mitose, processo pelo qual uma célula origina duas células idênticas, é possível entender melhor a continuidade da vida.

O capítulo também traz conhecimentos fundamentais para a compreensão da Genética moderna: a natureza química dos genes e sua capacidade de conter informações e de transmiti-las de geração para geração. No conjunto de moléculas de DNA de um ser vivo, isto é, em seu genoma, residem todas as informações para seu desenvolvimento.

No capítulo estudamos a natureza química das informações hereditárias – armazenadas nas moléculas de DNA – e como a mensagem codificada nessas moléculas pode se expressar pela transcrição e pela tradução gênicas.

Os assuntos do capítulo são pré-requisitos para a compreensão da Genética Molecular e suas aplicações, assuntos que permitem trabalhar conceitos, princípios, procedimentos, atitudes e valores.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Na abertura do capítulo, explicamos como foi realizada a clonagem da ovelha Dolly, que ficou bastante conhecida no final da década de 1990. A clonagem comprovou que, no núcleo de uma célula da ovelha, havia todas as informações para formar um organismo completo. São os genes, presentes nos cromossomos, que guardam essas informações.

No capítulo apresentamos também a mitose, um dos temas básicos do currículo do ensino médio. Os estudantes poderão compreender melhor o tema se forem levados a pensar que seu próprio corpo é resultado de divisões celulares e que elas ocorrem a todo instante, gerando continuamente novas células para substituir as que morrem.

É comum estudar mitose e meiose de forma sequencial e comparativa, uma vez que os eventos característicos dessas divisões são fundamentalmente os mesmos. Nesta obra, porém, optamos por não seguir esse costume; pensamos fazer mais sentido estudar a meiose como um processo de formação de gametas ou de esporos, isto é, relacionado à reprodução sexuada das espécies. Acredita-se que, evolutivamente, a meiose tenha surgido como uma variação da mitose, permitindo o aparecimento da reprodução sexuada.

Incluímos no capítulo dois quadros "Ciência e cidadania". O primeiro, intitulado *Alterações cromossômicas na espécie humana*, aborda algumas das principais síndromes cromossômicas em nossa espécie e, entre outros objetivos, visa ajudar os estudantes a compreender e a respeitar as pessoas com essas características. O segundo quadro intitula-se *O que é câncer?* e trata dessa doença, cuja origem está no descontrole da divisão celular. Sugerimos que os estudantes leiam os quadros com antecedência e respondam, sempre por escrito, às questões do Guia de leitura.

Se houver tempo e interesse, é possível montar um modelo tridimensional da molécula de DNA. Quando motivados, os estudantes geralmente são muito criativos; oriente-os na escolha de materiais originais e adequados para construir o modelo. Se na escola houver a disciplina de Arte, sugerimos um trabalho interdisciplinar para representar o DNA com materiais e propostas criativas. Mesmo modelos em papel podem ajudar a compreender os aspectos fundamentais da duplicação semiconservativa do DNA e da transcrição gênica.

Na seção "Faça você mesmo!", apresentamos uma atividade laboratorial simples de extração de DNA e uma atividade de representar a síntese de proteínas com modelos de papel. Esta última, por ser semelhante a um jogo de montar, costuma prender a atenção dos estudantes e os ajuda a compreender os processos bioquímicos, facilitando a sua assimilação.

Habilidades sugeridas

- Reconhecer o núcleo das células eucarióticas como centro de controle das atividades celulares.
- Reconhecer e identificar, em esquemas e fotomicrografias de células, o núcleo e suas partes: envoltório nuclear, cromatina e nucléolo.
- Conhecer o número normal de cromossomos da espécie humana (46) e compreender o significado das fórmulas cromossômicas da mulher – 46, XX – e do homem – 46, XY.
- Reconhecer a importância dos estudos cromossômicos para diagnosticar e prevenir síndromes cromossômicas, relacionando a ciência à melhora das condições de vida da humanidade.
- Reconhecer o papel da mitose na reprodução de organismos unicelulares e no crescimento e desenvolvimento de organismos multicelulares.
- Conhecer as principais subdivisões do ciclo celular, relacionando-as ao processo de duplicação do DNA cromossômico e sua posterior distribuição às células-filhas.
- Reconhecer e identificar, em esquemas e fotomicrografias de células em divisão, as principais fases da mitose: prófase, metáfase, anáfase e telófase.
- Compreender a relação funcional entre os processos de condensação dos cromossomos, formação do fuso mitótico e distribuição dos cromossomos para as células-filhas.
- Compreender a natureza química do DNA e a ação dos genes por meio da síntese de proteínas.
- Compreender o papel de cada um dos principais tipos de RNA – RNA mensageiro, RNA transportador e RNA ribossômico – no processo de síntese de proteínas.

Itens principais

- Organização do núcleo interfásico
- Características gerais dos cromossomos
- Dividir para multiplicar: a divisão celular
- Cromossomos em ação: duplicação e transcrição gênicas
- O mecanismo da síntese de proteínas: tradução gênica

Conceitos fundamentais

- Núcleo celular
- Envelope nuclear
- Cromatina
- Nucléolo
- Cromossomo
- Centrômero
- Cromátides-irmãs
- Gene
- Genoma
- Autossomo
- Cromossomos sexuais
- Cromossomos homólogos
- Célula diploide
- Célula haploide
- Cariótipo
- Ciclo celular
- Interfase
- Mitose
- Prófase
- Fuso mitótico
- Metáfase
- Anáfase
- Telófase
- Citocinese
- Tumor
- Cânceres
- Metástase
- Oncogenes
- Ácido desoxirribonucleico
- DNA
- Duplicação semiconservativa
- Ácido ribonucleico
- RNA
- Transcrição gênica
- RNA mensageiro
- Código genético
- Códon
- RNA transportador
- Ribossomos
- RNA ribossômico
- Tradução gênica

Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 2

Competências

- Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular aquelas ligadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.
- Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades

- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

Leituras complementares para o professor

Capítulo 4 – A descoberta das células

BRAGA, M.; GUERRA, A.; REIS, J. C. Geração espontânea: o debate continua. *Breve história da ciência moderna*: a *belle époque* da ciência. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2008. v. 4, p. 142-146.

Essa seção do livro apresenta as primeiras impressões sobre o estudo das células a partir da utilização do microscópio, desde o século XVII até o estabelecimento, no século XIX, da célula como unidade básica da vida e a compreensão do papel do núcleo na divisão celular.

BRZOZOWSKI, J. A.; BOTELHO, J. F. Uma longa sequência de gerações. *Ciência Hoje*, n. 250, p. 83-85, jul. 2008.

Uma célula só pode ser gerada por outra célula já existente. Essa ideia, que hoje compõe a teoria celular, era apenas uma hipótese há pouco mais de 150 anos. O artigo relembra o trabalho do patologista alemão Rudolph Ludwig Karl Virchow (1821-1902), que, ao observar o desenvolvimento de células ao microscópio, confirmou a hipótese da origem das células pela reprodução celular.

MESSIAS JR., N. S. Não foi suficiente ver para crer. *Ciência Hoje*, n. 229, p. 16, ago. 2006.

O artigo discute como limitações de ordem histórica e social podem explicar por que foi preciso esperar o século XIX para o surgimento da teoria celular.

SILVA, L. C. S. da; MESSIAS JR., N. S. Virchow, socialismo e teoria celular. *Ciência Hoje*, v. 47, n. 279, p. 66-67, mar. 2011.

O artigo evidencia que a teoria celular só passou a ter credibilidade com o apoio do médico e patologista alemão Rudolf Virchow, que associou a teoria às suas ideologias socialistas.

WALLAU, G. L. et al. Construindo um microscópio, de baixo custo, que permite observações semelhantes às dos primeiros microscopistas. *Genética na Escola*, v. 3, n. 2, p. 8-12, 2008.

O artigo traz a descrição da construção de um microscópio com uma única lente, como os de Leeuwenhoek, um dos primeiros microscopistas.

Capítulo 5 – Membrana celular e citoplasma

DERETIC, V.; KLIONSKY, D. J. Como as células limpam a casa. *Scientific American Brasil*, n. 73, p. 54-61, jun. 2008.

Proteínas desgastadas, organelas disfuncionais, microrganismos invasores: todos são varridos pela autofagia. Se continuar sempre ativo, esse processo pode retardar o envelhecimento.

RUMJANEK, F. Bolo sem receita. *Ciência Hoje*, v. 47, n. 279, p. 21, mar. 2011.

O autor questiona a razão de criar uma célula sintética, comparando a linha de compreensão de um biólogo tradicional com a de um biólogo sintético. Para criar uma célula – e uma vida – sintética, seria necessário criar e desenvolver as estruturas celulares e prever todas as interações que nelas ocorrem.

SANTOS, N. F.; BELTRAMINI, L. M. Células e moléculas ao alcance das mãos. *Ciência Hoje*, n. 207, p. 56-59, ago. 2004.

Jogos, peças de armar e outros materiais facilitam o ensino da Biologia Molecular. O artigo apresenta o projeto que desenvolveu peças para a construção de moléculas de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e de proteínas.

SANTOS, P. R.; MOURA, K. K. V. O. Fibrose cística e infertilidade masculina. *Ciência Hoje*, n. 254, p. 62-63, nov. 2008.

O artigo traz um alerta: mutações em estruturas do órgão genital masculino podem causar infertilidade. É destacado como a fibrose cística – doença grave que afeta um único gene – obstrui vasos em todo o corpo, principalmente de sistemas como o respiratório e o genital.

Capítulo 6 – Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

BARBOSA, M. D.; COSTA, G. M. Ácidos nucleicos: como entender isso? *Genética na Escola*, v. 6, n. 2, p. 6-10, 2011.

Com o intuito de minimizar a abstração da apresentação dos conteúdos relacionados aos ácidos nucleicos, os autores sugerem uma sequência didática baseada em aulas teórico-práticas nas quais se utilizam recursos multimídia.

(Disponível em: <http://www.geneticanaescola.com.br/#!volume-6---n-2/ctxh>. Acesso em: abr. 2016.)

CANO, M. I. N. A vida nas "pontas" dos cromossomos. *Ciência Hoje*, n. 229, p. 16, ago. 2006.

O que mantém a estabilidade do material genético geração após geração? Por cerca de 60 anos, a ciência buscou a resposta a essa pergunta. Ela foi encontrada nos telômeros, localizados na extremidade dos cromossomos e comparáveis ao acabamento que sela as pontas de um cadarço de sapato. Os telômeros logo se tornaram foco de uma das áreas mais instigantes da Biologia.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2006/229/a-vida-nas-pontas-dos-cromossomos>. Acesso em: abr. 2016.)

DE SOUZA, S. J. O ponto X do sexo. *Ciência Hoje*, n. 215, p. 11-12, maio 2005.

O destaque do artigo é uma análise do sequenciamento do cromossomo X humano. Esses resultados ajudaram a esclarecer a origem das diferenças sexuais da espécie humana e serviram de plataforma para o estudo de diversas doenças genéticas.

GAGE, F. H.; MUOTRI, A. R. O que torna o cérebro singular. *Scientific American Brasil*, n. 119, p. 34-39, abr. 2012.

Genes saltadores podem estar relacionados à variação de personalidades de gêmeos idênticos ou a comportamentos de pessoas com certos transtornos psiquiátricos. Esses segmentos de DNA copiados e realocados no genoma alterariam a atividade de genes, especialmente em regiões cerebrais.

GUIMARÃES, M. DNA cigano. *Revista Pesquisa Fapesp*, n. 198, p. 54-55, ago. 2012.

A partir de estudos com cana-de-açúcar, tem-se descoberto que fragmentos de DNA sem função conhecida, os transposons (ou elementos de transposição), podem mudar de lugar, representando papel importante na dinâmica do genoma.

(Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/08/14_transposon_198.pdf>. Acesso em: abr. 2016.)

MAGALHÃES, P. F. X. et al. Construindo os ácidos nucleicos. *Genética na Escola*, v. 6, n. 1, p. 16-23, 2011.

Além de informações sobre composição e estrutura das moléculas de DNA e RNA, os autores propõem uma atividade prática com a simulação da replicação e da tradução gênicas.

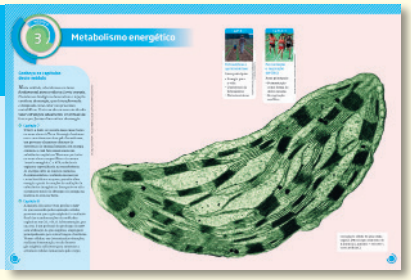
(Disponível em: <http://www.geneticanaescola.com.br/#!volume-6---n-1/c17c4>. Acesso em: abr. 2016.)

MORGANTE, A. M. V. Temos 46 cromossomos! *Ciência Hoje*, n. 224, p. 75-79, mar. 2006.

Há cerca de 60 anos, uma descoberta surpreendeu até os próprios responsáveis pelo estudo. A conclusão foi que a espécie humana tem 46 cromossomos, e não 48, como se acreditava. A constatação de Joe Hin Tjio e Albert Levan, publicada na revista *Hereditas*, foi apenas um dos destaques do ano de 1956 na área da Genética.

MÓDULO 3

Metabolismo energético



CAPÍTULO 7

Fotossíntese e quimiossíntese

A importância do assunto

O Sol é a fonte primária de energia para quase todo o mundo vivo. Com exceção de certos microrganismos quimiossintetizantes, capazes de aproveitar a energia liberada em processos inorgânicos, todos os seres vivos dependem, direta ou indiretamente, da luz solar.

Neste capítulo estudaremos os processos de obtenção de energia para a vida no nível das moléculas. Entre outras coisas, veremos que todos os seres vivos compartilham a mesma "moeda energética" – o ATP, uma substância orgânica especializada na transferência de energia entre as reações químicas celulares. Não é curioso pensar que o metabolismo de seres tão distintos como uma alga marinha e um canário seja abastecido de energia pela mesma substância? Para os biólogos, essa é mais uma evidência do parentesco evolutivo entre todos os seres vivos do planeta.

É importante estimular o estudante a viajar ao interior da célula viva e a analisar a obtenção de energia no aspecto molecular. Uma atividade corriqueira das plantas, que começa ao nascer do Sol e pode continuar noite adentro – a fotossíntese –, é um intrincado jogo molecular de transferências de energia das quais depende a nossa vida. Outro assunto do capítulo é a quimiossíntese, processo pelo qual certas bactérias e arqueas obtêm energia a partir de reações de oxidação de substâncias inorgânicas. Esse pode ter sido o primeiro modo de obtenção de energia na história da vida na Terra.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

A abertura do capítulo traz um diálogo ficcional entre pai e filho sobre a nutrição das plantas. A concepção equivocada do pai, baseada no senso comum do século passado, é o ponto de partida de um tema importante para a compreensão da vida: saber como a energia luminosa do Sol é transformada em energia química e armazenada em moléculas orgânicas, utilizadas no metabolismo celular.

Sugerimos perguntar aos estudantes o que há em comum entre uma lâmpada, uma pilha, um motor de carro e uma planta, incentivando-os a pensar e a discutir um pouco sobre a questão. Em seguida, é possível esclarecer que todos esses elementos são capazes de transformar energia. A lâmpada transforma energia elétrica em luz e calor; a pilha tem energia potencial química, que pode ser convertida em energia elétrica; o motor a explosão transforma a energia química do combustível em movimento e calor; a planta capta energia luminosa e a transforma em energia química, que fica armazenada em moléculas orgânicas. A proposta é levar os estudantes a perceber que os seres humanos, assim como todos os demais seres vivos, transformam a energia química presente nos alimentos em calor, movimento etc.

Outra abordagem interessante é chamar a atenção dos estudantes para o papel dos alimentos como fonte de matéria-prima e de energia para a vida. Uma atividade simples – a análise de informações nutricionais e valores calóricos em rótulos de alimentos – é uma estratégia para isso. Compreender que a energia presente nos alimentos provém, em última análise, da fotossíntese contribui para a valorização do estudo da Biologia.

O capítulo emprega muitos conceitos de Química e de Física, o que possibilita um trabalho integrado com essas disciplinas. Pode-se conversar com os professores de Química, por exemplo, sobre a possibilidade de explicar como as reações de oxirredução envolvem transformações de energia. A disciplina de Física poderia, entre outras coisas, trabalhar a noção de que os sistemas biológicos, como tudo no universo, seguem as leis da termodinâmica. Temas como a natureza da luz, a transformação de energia luminosa em energia química e a explicação física para o fenômeno da fluorescência da clorofila, entre outros, também poderiam ser tratados em Biologia com a ajuda da Física.

Algumas descobertas, apresentadas no capítulo, permitem compreender melhor certos processos celulares. Pode-se discutir com os estudantes, por exemplo, a engenhosidade da enzima sintase do ATP, um complexo proteico que atua como um nanotransformador de energia. Nesse processo, fótons da luz solar transferem energia para elétrons, que forçam o bombeamento de íons de hidrogênio para o espaço interno do tilacoide, o que gera energia potencial osmótica. Esta, por sua vez, "movimenta" as sintases localizadas na membrana do tilacoide, levando à síntese de ATP. Conduzir os estudantes a esse tipo de pensamento integrativo ajuda a encaixar as muitas peças do "quebra-cabeça" metabólico.

Habilidades sugeridas

- Valorizar o estudo dos processos energéticos celulares e compreender as relações de interdependência entre os seres vivos e a composição físico-química do ambiente.
- Conceituar metabolismo e reconhecer que moléculas orgânicas são ricas em energia potencial química.
- Compreender o papel das moléculas de ATP como intermediadoras de processos energéticos celulares.
- Conhecer e compreender as principais etapas da fotossíntese (fotólise da água, fotofosforilação e ciclo das pentoses), identificando os locais da célula eucariótica onde cada uma delas ocorre.
- Conhecer o processo de quimiossíntese e reconhecer a possibilidade de esse ter sido o primeiro modo de obtenção de energia na história da vida na Terra.

Itens principais

- Energia para a vida
- O processo da fotossíntese
- Quimiossíntese

Conceitos fundamentais

- ATP
- Fotossíntese
- Aceptores de elétrons
- Cadeia transportadora de elétrons
- Sintase do ATP
- Fotofosforilação
- Fotólise da água
- Ciclo das pentoses
- Quimiossíntese

CAPÍTULO 8

Fermentação e respiração aeróbica

A importância do assunto

Neste capítulo continuaremos a estudar os processos de obtenção de energia para a vida no nível das moléculas. Como foi visto, todos os seres vivos compartilham a mesma "moeda energética" – o ATP, uma substância orgânica especializada na transferência de energia entre as reações químicas celulares. Para os biólogos, essa é mais uma evidência do parentesco evolutivo entre todos os seres vivos do planeta.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

A abertura do capítulo traz um texto sobre respiração e o gás oxigênio, mostrando sua provável origem na atmosfera. Debata com os estudantes como deveria ser o planeta com uma atmosfera sem esse gás e que mudanças podem ter ocorrido a partir de seu aparecimento na atmosfera.

Assim como sugerido para o capítulo anterior, aqui também podemos chamar a atenção dos estudantes para o papel dos alimentos como fonte de matéria-prima e de energia para a vida, uma vez que, em linhas gerais, o processo respiratório permite aos seres vivos obter e mobilizar a energia originalmente presente nos alimentos, condição fundamental à vida.

É importante que os estudantes reconheçam os dois níveis em que ocorre a respiração: o nível do organismo (expiração e inspiração) e o nível celular (oxidação das moléculas orgânicas). Deve ficar claro também que a fermentação é um processo de obtenção de energia anaeróbico, ou seja, que ocorre sem a participação do gás oxigênio.

O quadro "Ciência e cidadania", intitulado *A importância da fermentação para a humanidade*, traz informações básicas sobre os processos fermentativos. Os estudantes poderão ler o quadro e responder por escrito às questões do Guia de leitura. Temas como esse possibilitam integrar a sala de aula ao cotidiano do estudante.

Esse capítulo, assim como o anterior, emprega muitos conceitos de Química, o que possibilita um trabalho integrado com essa disciplina. Pode-se conversar com os professores de Química, por exemplo, sobre a possibilidade de explicar como as reações de oxirredução envolvem transformações de energia.

Habilidades sugeridas

- Valorizar o estudo dos processos energéticos celulares e compreender as relações de interdependência entre os seres vivos e a composição físico-química do ambiente.
- Conceituar fermentação e exemplificar empregos tecnológicos desse processo, como a produção de bebidas alcoólicas, de alimentos etc.
- Conceituar respiração celular e identificar as equações químicas gerais referentes a esse processo.
- Conhecer e compreender as principais etapas da respiração celular aeróbica (glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa), identificando os locais da célula onde cada uma delas ocorre.
- Conhecer os principais compostos que servem de fonte de energia para a respiração celular.

Itens principais

- Fermentação como forma de obter energia
- A respiração aeróbica

Conceitos fundamentais

- Fermentação
- Glicólise
- Respiração aeróbica
- Ciclo de Krebs
- Fosforilação oxidativa
- Cadeia respiratória
- Teoria quimiosmótica

Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 3

Competências

- Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades

- Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.
- Interpretar modelos e experimentos para explicar fenômenos ou processos biológicos em qualquer nível de organização dos sistemas biológicos.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.

Leituras complementares para o professor

Capítulo 7 – Fotossíntese e quimiossíntese

KHAKA, B. S.; BURNSTOCK, G. A vida dupla do ATP. *Scientific American Brasil – Aula aberta*, n. 7, p. 36-43, 2011.

Além de seu já bem conhecido papel como fonte de energia dentro das células, o ATP desempenha a função de mensageiro intercelular, especialmente em células nervosas. Outras descobertas sugerem sua atuação na formação de estruturas durante a embriogênese e participação em determinadas funções de células especializadas ainda na vida adulta.

MELO, H. C. S. et al. Motores moleculares. *Ciência Hoje*, n. 230, p. 26-31, set. 2006.

Uma célula pode ser comparada a uma cidade, com seus diferentes moradores e atividades. Na cidade celular, as organelas precisam se deslocar para realizar suas funções; nada é estático. Como todo esse movimento acontece? O artigo apresenta os motores moleculares responsáveis pelo movimento dessas peças até seus destinos, o que tem sido o foco de muitos estudos científicos nas últimas décadas.

VALMALETTE, J. C. et al. Light-induced electron transfer and ATP synthesis in a carotene synthesizing insect. *Scientific Reports*, v. 2, n. 579, p. 1-8, ago. 2012.

O artigo, em inglês, relata a descoberta de uma espécie de pulgão (*Acyrthosiphon pisum*) que possui carotenoides em determinadas condições. A presença desse grupo de substâncias foi relacionada à exposição dos insetos à luz e a uma quantidade aumentada de ATP, resultando na transformação da energia luminosa em energia química.

(Disponível em: <www.nature.com/srep/2012/120816/srep00579/pdf/srep00579.pdf>. Acesso em: abr. 2016.)

Capítulo 8 – Fermentação e respiração aeróbica

CUNHA, F. A. P. A química na padaria: o açúcar nos pães dietéticos. *Ciência Hoje*, n. 247, p. 34-39, abr. 2008.

Pães dietéticos são produzidos sem a adição de açúcar e recomendados para pessoas com diabetes ou necessidades alimentares especiais. Mas como se pode fazer um pão sem açúcar se este é essencial para alimentar o fermento biológico? O artigo discute como o conhecimento científico pode ser importante para nossas atividades cotidianas, inclusive na padaria.

PANEK, A. D. Pão e vinho: a arte e a ciência da fermentação. *Ciência Hoje*, n. 195, p. 62-65, jul. 2003.

As leveduras (um tipo de fungo) são utilizadas há milênios pela humanidade para transformar suco de uva em vinho ou pasta de cevada em cerveja. O artigo faz um apanhado histórico do uso desses organismos pela humanidade, do antigo Egito aos dias atuais.

PANEK, A. D. E se Dionísio soubesse Química? *Ciência Hoje*, v. 47, n. 279, p. 42-47, mar. 2011.

A fermentação contada por meio da história do vinho, da cerveja e de outras bebidas fermentadas. Como as reações químicas ocorridas dentro de células produzem substâncias capazes de transformar alimento em bebidas alcoólicas.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2011/279/pdf_aberto/esedionisio279.pdf>. Acesso em: abr. 2016.)

VERCESI, A. E. Mitocôndrias: ATP, calor e morte celular. *Ciência Hoje*, n. 199, p. 16-23, nov. 2003.

As mitocôndrias são organelas conhecidas como as "usinas de força" das células. Estudos têm mostrado que a "impermeabilidade" da membrana mitocondrial interna é essencial para suas funções de produzir ATP ou regular a morte celular. O artigo discute o que é essa "impermeabilidade" e sua importância para a função dessas organelas celulares.

MÓDULO 4

Reprodução e desenvolvimento

CAPÍTULO 9

Tipos de reprodução, meiose e fecundação

A importância do assunto

O capítulo aborda os fundamentos da reprodução, uma das características mais essenciais à vida e que garante sua perpetuação na Terra. Começamos pelo estudo da variedade de formas de reprodução desenvolvidas pelos seres vivos, partindo da reprodução assexuada dos seres microscópicos até a reprodução sexuada dos animais.

O ponto central do capítulo é a relação entre a reprodução sexuada e o processo meiótico. Acredita-se que a meiose surgiu como uma variação da mitose e possibilitou o aparecimento da reprodução sexuada. Esses temas permitem estabelecer uma relação entre o mundo microscópico dos cromossomos e o processo de perpetuação da vida em escala planetária.

Tratamos também do processo de formação dos gametas nos animais – a gametogênese – e dos eventos microscópicos que ocorrem na fecundação, processo que origina o zigoto, a primeira célula de um novo organismo.

O assunto é relativamente complexo; mais do que decorar os principais eventos da meiose, é preciso ter em vista o papel desse processo para a continuidade da vida

e valorizar a sua importância para a reprodução; nesse contexto, os detalhes passam a ter função mais ilustrativa, exemplificando a nomenclatura utilizada pelos cientistas.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Na abertura comentamos a importância da sexualidade, empreendimento em que dois indivíduos misturam seus genes e originam uma nova geração geneticamente recombinada. Excetuando os seres procarióticos (bactérias e arqueas), que não têm reprodução sexuada propriamente dita, há pouquíssimos organismos eucarióticos em que o sexo não está presente.

A universalidade do sexo sugere que ele surgiu há muito tempo na história evolutiva da vida, possivelmente em antigos organismos unicelulares dos quais nós e todos os seres eucarióticos atuais descendemos. Ainda se discute por que o sexo, como forma de reprodução, teve tanto sucesso, mas é provável que isso esteja relacionado à sua importância em promover a variabilidade genética das espécies, a matéria-prima sobre a qual atua a seleção natural.

A proposta do capítulo é enfatizar o papel da meiose na redução da ploidia dos ciclos sexuados, contrabalançando, assim, a reunião cromossômica que ocorre na fecundação. Vale ressaltar que a meiose se compõe de duas divisões celulares consecutivas, sendo a divisão I reducional – em que se separam cromossomos homólogos – e a divisão II equacional, semelhante à mitose, em que se separam as cromátides-irmãs.

O tema do capítulo, por ser específico nesse nível de abordagem, favorece relativamente poucas oportunidades de integração com outras disciplinas. Uma sugestão é propor um trabalho com a disciplina de Arte, uma vez que as fases da divisão celular têm aspectos plásticos que favorecem sua representação em desenhos e modelos que podem ser feitos com materiais simples, como argila ou massa de modelar. Estimule os estudantes a exercitar as habilidades de desenhar para esquematizar fases e detalhes da meiose. Na seção "Faça você mesmo!" sugerimos atividades em que os cromossomos são representados por modelos feitos de massa de modelar ou barbantes, o que permite visualizar os eventos meióticos e facilita entender a diferença entre as separações cromossômicas nas divisões I e II. Sugerimos também uma atividade em que a meiose é representada pelos dedos das mãos simulando os cromossomos e os principais eventos meióticos.

No quadro "Ciência e cidadania" intitulado *Falhas na meiose e alterações cromossômicas*, vemos como eventuais erros no processo de divisão celular podem levar a alterações cromossômicas responsáveis pelas síndromes de Down, de Turner e de Klinefelter. O texto destaca, em particular, a correlação entre a idade da mãe e o aumento na frequência de não disjunções cromossômicas na meiose. Atualmente, com a educação especializada e projetos de inclusão social, pessoas com essas características podem expressar todo o seu potencial para a vida. Recomendamos que se discutam essas questões com os alunos, levando-os a refletir sobre a importância de projetos de inclusão social. Se julgar oportuno, proponha algum trabalho de pesquisa a respeito.

Habilidades sugeridas

- Conhecer e compreender as principais formas de reprodução assexuada e o papel da meiose na reprodução sexuada, tanto na manutenção da ploidia da espécie quanto na recombinação dos cromossomos e genes dos progenitores.
- Reconhecer e identificar, em esquemas e fotografias de células em divisão, as principais fases da meiose: prófase I e II, metáfase I e II, anáfase I e II e telófase I e II.
- Esquematizar células nas principais fases da meiose e mostrar, em diagramas e modelos, a essência das separações cromossômicas das divisões I e II da meiose.
- Conhecer e compreender os aspectos básicos da formação dos gametas nos animais, reconhecendo semelhanças e diferenças entre a espermatogênese e a ovulogênese.
- Conhecer os aspectos básicos da fecundação nos animais e reconhecer a cariogamia como o ponto culminante desse processo.
- Diferenciar ciclos de vida com meiose gamética (haplobionte diplonte), zigótica (haplobionte haplonte) ou espórica (diplobionte), citando em quais organismos ocorre cada um deles.

Itens principais

- Tipos de reprodução
- Meiose e reprodução
- Gametas e fecundação nos animais
- Meiose e ciclos de vida

Conceitos fundamentais

- Reprodução
- Divisão binária
- Esporulação
- Brotamento
- Fragmentação
- Partenogênese
- Gametas
- Zigoto
- Meiose
- Células germinativas

- Gametogênese
- Espermatozoide
- Óvulo
- Fecundação
- Cariogamia

CAPÍTULO 10

Desenvolvimento embrionário animal

A importância do assunto

Neste capítulo estudamos as linhas gerais da embriogênese animal, nome dado ao processo de desenvolvimento dos embriões e objeto de estudo da Embriologia. Salientamos que nosso foco se limita aos aspectos embriológicos básicos, uma vez que há grande variedade de detalhes na embriogênese dos diversos grupos animais.

O mais importante, em nossa opinião, é levar os estudantes a perceber a maravilhosa sequência de transformações que leva uma única célula – o zigoto – a originar um organismo completo. Explore mais os padrões gerais que os detalhes.

Os assuntos tratados neste capítulo são pré-requisitos para o capítulo seguinte, que trata da reprodução e do desenvolvimento embrionário na espécie humana. Além disso, fornece bases para o estudo comparativo dos animais.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Na abertura deste capítulo tratamos o desenvolvimento embrionário como um fantástico empreendimento celular, em que um organismo altamente complexo é construído a partir de uma única "pedra fundamental" celular, o zigoto. Um empreendimento desse porte só é possível com um alto grau de organização, com etapas se sucedendo rigorosamente no espaço corporal e no tempo.

Considere a possibilidade de utilizar modelos tridimensionais construídos pelos estudantes em argila ou em massa de modelar, como sugerimos na seção "Faça você mesmo!". Atividades de desenho também ajudam a concretizar os conceitos referentes aos estágios iniciais do desenvolvimento.

Sugerimos utilizar o quadro "Amplie seus conhecimentos" intitulado *A embriologia do anfioxo como exemplo* em uma atividade extraclasse, propondo que os estudantes se reúnam em grupos e produzam modelos tridimensionais e desenhos do desenvolvimento embrionário desse animal.

O item relativo aos anexos embrionários será novamente abordado no capítulo 11. O mais importante é que os estudantes percebam que os anexos embrionários são estruturas adaptativas dos ancestrais dos répteis na transição evolutiva para o ambiente terrestre. Ressalte o fato de que nós também apresentamos essas estruturas, o que é mais uma evidência de nosso parentesco evolutivo com os répteis, apesar de nosso desenvolvimento ocorrer no interior do útero materno.

Habilidades sugeridas

- Conceituar segmentação e relacionar o tipo de ovo ao tipo de segmentação.
- Conceituar gastrulação e compreender que nesse estágio do desenvolvimento surgem o arquêntero e os folhetos germinativos.
- Conhecer os aspectos gerais da formação do tubo nervoso, da notocorda e dos diferentes tecidos embrionários.
- Conhecer os principais estágios do desenvolvimento embrionário do anfioxo, reconhecendo a importância desse organismo como modelo didático para a embriogênese dos vertebrados.
- Estar informado sobre a importância dos anexos embrionários em répteis, aves e mamíferos.

Itens principais

- Segmentação e formação da blástula
- Gastrulação
- Organogênese
- Anexos embrionários

Conceitos fundamentais

- Embrião
- Embriogênese
- Segmentação
- Blastômeros
- Mórula
- Blástula
- Vitelo
- Gástrula
- Gastrulação
- Arquêntero
- Blastóporo
- Folhetos germinativos
- Ectoderma
- Endoderma
- Mesoderma
- Nêurula
- Tubo nervoso
- Notocorda
- Celoma
- Anexos embrionários
- Saco vitelínico
- Alantoide
- Âmnio
- Cório

CAPÍTULO 11

Reprodução humana

A importância do assunto

Neste capítulo apresentamos os aspectos básicos da reprodução humana. O conhecimento científico sobre o tema tem levado as pessoas a terem mais consciência e controle sobre a própria reprodução. Além do método anticoncepcional natural, que requer apenas o conhecimento do ciclo reprodutivo para abster-se de relações sexuais nos dias férteis, há diversos métodos contraceptivos artificiais eficazes, como a pílula, a camisinha, o diafragma, o DIU (dispositivo intrauterino), entre outros.

A reprodução humana costuma ser um tema motivador para os jovens, que precisam de informações seguras sobre sexualidade e reprodução que os ajudem a atuar conscientemente nessa importante área da vida e do relacionamento humano. Além de abordarmos os fundamentos do processo reprodutivo, apresentamos alguns métodos contraceptivos. Lembre-se de que, para muitos estudantes, o estudo desse capítulo pode ser uma das únicas oportunidades de aprender sobre o tema. Por isso é importante que os estudantes se sintam à vontade para fazer perguntas e desfazer eventuais dúvidas.

O conhecimento dos fundamentos da reprodução humana é um exercício de cidadania, não apenas por dar a cada pessoa a possibilidade de exercer o controle de sua reprodução, mas também por levar a reflexões mais aprofundadas sobre o crescimento populacional humano, em um mundo já tão intensamente povoado.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Na abertura do capítulo discutimos o nascimento de Louise Brown, o primeiro bebê de proveta da história, feito por um procedimento inédito para a época. O sucesso na concepção de Louise levou milhares de mulheres com problemas de infertilidade a implantar em seus úteros embriões concebidos *in vitro*, isto é, em frascos de laboratório.

Além disso, o sucesso da clonagem da ovelha Dolly, originada a partir de uma célula de uma ovelha adulta, abriu a possibilidade de fazer o mesmo com seres humanos. A principal crítica à clonagem humana é que a pessoa clonada seria privada do direito de possuir uma identidade genética única e original, por ter seu genoma deliberadamente escolhido por alguém. Há também aqueles que defendem utilizar a clonagem para produzir tecidos e órgãos humanos em laboratório, o que supriria a enorme necessidade de órgãos para transplantes. Achamos que esse tema, por ser polêmico, oferece uma ótima oportunidade de discussão em sala de aula.

Esse capítulo também oferece a oportunidade de conversar com os alunos sobre a diferença entre sexo biológico, identidade de gênero e orientação sexual. Nesse sentido, propomos a leitura do quadro "Amplie seus conhecimentos" intitulado *Homens e mulheres: compreender conceitos para vencer preconceitos e estereótipos*. Incentive o diálogo entre os estudantes, cuidando para que eles respeitem opiniões contrárias e reconheçam a importância de tratar com igualdade todas as pessoas, independentemente do sexo, do gênero e da orientação sexual de cada um.

No quadro "Ciência e cidadania" intitulado *O controle da reprodução humana* apresentamos diferentes tipos de métodos anticoncepcionais. Em uma sociedade democrática, espera-se que cada pessoa possa escolher livremente a utilização ou não de métodos anticoncepcionais, de acordo com seus valores e crenças.

Na seção "Questões para exercitar o pensamento" apresentamos uma atividade que permite promover um debate mais amplo relacionado à sexualidade humana, propondo um foro de discussões. Como se trata de um tema de grande relevância e abrangência, um debate desse tipo pode promover a integração com disciplinas como História, Filosofia e Sociologia. Veja, na seção de atividades complementares, outra sugestão de debate: Bebês de proveta.

Habilidades sugeridas

- Conhecer os órgãos que compõem os sistemas genitais feminino e masculino, associando-os às funções que desempenham no processo reprodutivo.
- Conhecer e compreender o modo de ação dos principais hormônios envolvidos na reprodução humana, relacionando-os aos processos de formação dos gametas e de preparação do organismo feminino para a concepção, a gravidez e o parto.
- Compreender, em linhas gerais, os eventos relacionados ao parto – contrações uterinas, ruptura da bolsa amniótica, expulsão do feto e eliminação da placenta.
- Ter conhecimento sobre alguns métodos contraceptivos e compreender os princípios de funcionamento de cada um deles.
- Utilizar os conhecimentos sobre a reprodução e o desenvolvimento embrionário humanos para opinar de forma consciente sobre assuntos polêmicos, como controle da reprodução, aborto, fertilização *in vitro*, clonagem, entre outros.

Itens principais

- Sistema genital feminino
- Sistema genital masculino
- Hormônios relacionados à reprodução
- Gravidez e parto

Conceitos fundamentais

- Sistema genital feminino
- Pudendo feminino
- Vagina
- Útero
- Endométrio
- Tubas uterinas
- Ovários
- Ovulação
- Corpo-amarelo
- Sistema genital masculino
- Pênis
- Escroto
- Testículo
- Ductos deferentes
- Glândulas seminais
- Esperma
- Próstata
- Ejaculação
- Hormônios sexuais
- Hormônio estimulante do folículo
- Hormônio luteinizante
- Estrógeno
- Progesterona
- Testosterona
- Menstruação
- Ciclo menstrual
- Nidação
- Gravidez
- Vilosidades coriônicas
- Gonadotrofina coriônica
- Placenta
- Cordão umbilical
- Parto

CAPÍTULO 12

A diversidade celular dos vertebrados

A importância do assunto

Neste capítulo estudamos os principais tecidos constituintes do corpo dos animais vertebrados, com destaque para a espécie humana. Incluindo os tecidos da placenta e dos anexos embrionários, há nada menos que 216 tipos de tecido em nosso corpo.

Nosso objetivo é conhecer as características básicas dos principais tipos de tecido, dando, assim, mais um passo para compreender melhor o funcionamento do corpo humano.

O conhecimento detalhado da estrutura e do funcionamento dos organismos, desde as moléculas aos tecidos, tem possibilitado visualizar um futuro otimista para a humanidade, principalmente no tratamento e na cura de inúmeras doenças.

Sugestões didáticas e comentários sobre o capítulo

Embora cada tecido seja estudado separadamente, devemos ter em mente que eles formam os órgãos e, estes, os sistemas. Os sistemas agem em conjunto, como se fossem uma grande equipe organizada em diversos níveis, das células ao organismo. Compreender o todo a partir dos elementos componentes requer muita reflexão e imaginação, para "remontar" aquilo que dissecamos em nossas análises de aprendizagem. Entretanto, esse desafio amplia nossos horizontes de conhecimento e ajuda a entender melhor a complexidade dos seres vivos.

Julgamos ser importante que os estudantes compreendam o que são células-tronco e a razão de vários pesquisadores terem essas células como objeto de estudo. Nesse sentido, propomos a leitura do quadro "Ciência e cidadania" intitulado *A importância das células-tronco*. Incentive os estudantes a explorarem as questões propostas no Guia de leitura. A atividade da seção "Questão para exercitar o pensamento" pode complementar esse assunto. Permita que os estudantes discutam as implicações éticas do uso das células-tronco, suas possibilidades e limitações.

Explore a imagem da abertura do capítulo e sua respectiva legenda, ressaltando os avanços na Medicina decorrentes do conhecimento do maior órgão do corpo humano: a pele. A reprodução em laboratório da pele foi realizada pela primeira vez no Brasil, em 2005, por pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Com base em estudos desenvolvidos com cultura de células da pele, a médica dermatologista Beatriz Puzzi produziu as camadas da pele – derme e epiderme – para serem utilizadas em pacientes que necessitassem de enxertos de úlceras ou em tratamento de queimaduras quando a área doadora era escassa. Esses estudos contribuíram para uma alternativa de tratamento sem rejeição.

Habilidades sugeridas

- Reconhecer a diferenciação celular como responsável pela formação dos diversos tipos de tecido que compõem o corpo dos seres multicelulares.
- Saber o que são células-tronco e reconhecer o potencial uso dessas células em diversas terapias.
- Conhecer as características e as funções do tecido epitelial.

- Conhecer as características e as funções do tecido conjuntivo.
- Conhecer as características e as funções do tecido hematopoiético.
- Conhecer as características e as funções do tecido muscular.
- Conhecer as características e as funções do tecido nervoso.

Itens principais

- A diversidade dos tecidos vivos
- Tecido epitelial
- Tecido conjuntivo
- Tecido muscular
- Tecido nervoso

Conceitos fundamentais

- Diferenciação celular
- Tecidos
- Tecido epitelial de revestimento
- Glândulas exócrinas
- Glândulas endócrinas
- Fibroblastos
- Tecido conjuntivo frouxo
- Tecido conjuntivo denso não modelado
- Tecido conjuntivo denso modelado
- Tecido adiposo
- Tecido cartilaginoso
- Condroblastos
- Condrócitos
- Tecido ósseo
- Osteoblastos
- Osteócito
- Osteoclastos
- Tecido hematopoiético
- Miócitos
- Tecido muscular estriado esquelético
- Tecido muscular estriado cardíaco
- Tecido muscular não estriado
- Tecido nervoso
- Neurônios
- Gliócitos

Competências e habilidades do Enem relacionadas ao módulo 4

Competências

- Compreender as Ciências Naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.
- Compreender interações entre organismos e ambiente, em particular as ligadas à saúde humana, relacionando conhecimentos científicos, aspectos culturais e características individuais.
- Apropriar-se de conhecimentos da Biologia para, em situações-problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

Habilidades

- Reconhecer mecanismos de transmissão da vida, prevendo ou explicando a manifestação de características dos seres vivos.
- Identificar padrões em fenômenos e processos vitais dos organismos, como manutenção do equilíbrio interno, defesa, relações com o ambiente, sexualidade, entre outros.
- Compreender o papel da evolução na produção de padrões, processos biológicos, ou na organização taxonômica dos seres vivos.
- Avaliar propostas de alcance individual ou coletivo, identificando aquelas que visam à preservação e à implementação da saúde individual, coletiva ou do ambiente.

Leituras complementares para o professor

Capítulo 9 – Tipos de reprodução, meiose e fecundação

GOMES, A. S. et al. Síndromes cromossômicas em uma nova perspectiva de aprendizagem. *Genética na Escola*, v. 6, n. 1, p. 24-26, 2011.

Proposta de jogo da memória adaptada para a dinâmica de reconhecimento de síndromes relacionadas a variações do número de cromossomos.

(Disponível em: <http://media.wix.com/ugd/b703be_ceca96f4b902449da02e9f3e58207a3e.pdf>. Acesso em: abr. 2016.)

HEMERLY, A. S. A patrulha da "ordem e progresso" da divisão celular. *Ciência Hoje*, n. 268, p. 34-39, mar. 2010.

Nas divisões celulares, o material genético (DNA) é copiado e distribuído entre as futuras células de forma muito

bem coordenada. Como esse processo pode ocorrer com tanta exatidão, com tão poucos erros? Esse artigo discute um estudo que desvendou a atuação de uma importante proteína responsável pela ordem e correção da divisão de uma célula humana.

RUMJANEK, F. Monogamia, amor e ciúme. *Ciência Hoje*, v. 49, n. 293, p. 23, jun. 2012.

A reprodução sexuada, cuja função foi questionada por Charles Darwin, parece ter explicações fornecidas pela seleção natural, até mesmo no caso de comportamentos como o amor, a monogamia e o ciúme.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2012/293/monogamia-amor-e-ciume>. Acesso em: abr. 2016.)

WHITE, Y. A. R. et al. Oocyte formation by mitotically active germ cells purified from ovaries of reproductive-age women. *Nature Medicine*, v. 18, n. 3, p. 413-421, mar. 2012.

Experimentos apontam evidências da existência de células-tronco ovarianas (CTOs), que podem originar novos óvulos. Essa é uma notícia fantástica, principalmente para as mulheres que dependem atualmente da doação de óvulos para engravidar.

(Resumo em português disponível em *Ciência Hoje*, v. 49, n. 291, p. 14-15, abr. 2012.)

Capítulo 10 – Desenvolvimento embrionário animal

LAMB, T. D. A fascinante evolução do olho. *Scientific American Brasil*, n. 111, p. 46-51, ago. 2011.

O autor procura explicar as diferenciações evolutivas dos olhos em invertebrados e vertebrados, demonstrando funções das células fotorreceptoras e esclarecendo algumas "falhas" no olho atual que impedem que as imagens sejam ainda mais perfeitas.

(Disponível em: <www2.uol.com.br/sciam/reportagens/a_fascinante_evolucao_do_olho.html>. Acesso em: abr. 2016.)

MARQUES-SOUZA, H. et al. Evo-Devo verde-amarela. *Ciência Hoje*, v. 50, n. 298, p. 26-30, nov. 2012.

Conhecida como Evo-Devo, a Biologia evolutiva do desenvolvimento é uma área em ascensão nas Ciências Biológicas. Estudos comparativos mostram como genes determinam a formação de embriões e adultos e revelam semelhanças no desenvolvimento embrionário de espécies distantes evolutivamente.

Capítulo 11 – Reprodução humana

GAJER, P. et al. Temporal dynamics of the human vaginal microbiota. *Science Translational Medicine,* v. 4, n. 132, p. 132-153, maio 2012.

Estudo analisa e revela que a comunidade microbiana vaginal pode variar, em quantidade e tipo, tanto em mulheres de diferentes etnias quanto numa mesma mulher em determinados períodos. Tais resultados podem ser importantes para um tratamento médico personalizado.

(Resumo em português disponível em *Ciência Hoje*, v. 49, n. 293, p. 19, jun. 2012.)

(*Slides* de apresentação do trabalho, em inglês, disponíveis em: <http://cbcb.umd.edu/omics/Talks/Ravel-Omics.pdf>. Acesso em: abr. 2016.)

GKOUNTELA, S. et al. The ontogeny of cKIT1 human primordial germ cells proves to be a resource for human germ line reprogramming, imprint erasure and in vitro differentiation. *Nature Cell Biology*, n. 15, p. 113-122, jan. 2013.

Com a possibilidade de ajudar casais afetados pela infertilidade, pesquisadores tentam mapear o desenvolvimento de células-tronco embrionárias que originam células germinativas, com o intuito de reproduzi-las em laboratório.

(Resumo em português disponível em: <www2.uol.com.br/sciam/noticias/primeiro_mapa_do_desenvolvimento_de_celulas_sexuais_humanas.html>. Acesso em: abr. 2016.)

Capítulo 12 – A diversidade celular dos vertebrados

ERENO, D. Mimetismo ósseo. *Pesquisa Fapesp*, n. 191, p. 64-67, jan. 2012.

O artigo trata dos biomateriais desenvolvidos para implantes capazes de regenerar a camada óssea perdida, interagindo efetivamente com o osso e estimulando a regeneração celular.

(Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2012/01/17/mimetismo-osseo>. Acesso em: abr. 2016.)

FARIAS, K. M. Dupla poderosa. *Ciência Hoje*, v. 47, n. 282, p. 52-53, jun. 2011.

O transplante de células-tronco aliado a exercícios tem sido eficaz na recuperação de movimentos em pacientes que sofreram determinados tipos de lesão.

MOUTINHO, S. Gordura do bem. *Ciência Hoje*, v. 48, n. 283, p. 62-63, jul. 2011.

Células do tecido adiposo estão sendo utilizadas em terapia para tratar queimaduras, auxiliando no processo de cicatrização das lesões. Acredita-se, ainda, que as células de gordura possam se transformar em vários outros tipos de células.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2011/283/gordura-do-bem>. Acesso em: abr. 2016.)

PEREIRA, L. V. Terapias com células-tronco: promessa ou realidade? *Ciência Hoje*, v. 52, n. 308, p. 34-38, out. 2013.

Artigo detalha os avanços e desafios da ciência em relação ao uso medicinal das células-tronco.

(Disponível em: <http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/2013/308/terapias-com-celulas-tronco-promessa-ou-realidade>. Acesso em: abr. 2016.)

7 Atividades complementares

1. Atividade de laboratório: Simulando um experimento para refutar a geração espontânea

Esta atividade pode ser realizada com poucos recursos técnicos e possibilita aos estudantes simular uma das práticas de esterilização (eliminação de microrganismos) largamente empregadas em laboratórios, indústrias químicas e de alimentos.

Material necessário

- 6 tubos de ensaio (ou frascos equivalentes);
- "rolhas" para os tubos feitas de espuma plástica ou de algodão hidrofóbico;
- papel-alumínio;
- pano de prato;
- algodão ou filtro de papel;
- panela de pressão;
- ingredientes para o caldo (carne moída e água).

Material opcional

- microscópio;
- lâminas de vidro para microscopia;
- solução de azul de metileno (corante, 1 mg/100 mL).

Atenção: Lembre sempre aos estudantes sobre os cuidados necessários no caso de uso de fogo.

Procedimentos

Prepare um caldo de cultura misturando 200 g de carne moída com meio litro de água filtrada, deixando de molho até o dia seguinte. Filtre o líquido, espremendo a carne no pano de prato. Ferva o líquido obtido por 15 minutos e filtre em algodão ou filtro de papel, de modo a obter um caldo claro e transparente (esse caldo contém aminoácidos, vitaminas, açúcares e diversas outras substâncias que servirão de alimento para os microrganismos).

Distribua o caldo de carne entre os tubos de ensaio, de modo a ocupar $\frac{1}{3}$ do volume de cada tubo. Feche os tubos com as "rolhas" e cubra-as com papel-alumínio. Ponha os tubos em pé dentro de um recipiente resistente ao calor (porcelana, pirex, alumínio etc.) e coloque o conjunto na panela de pressão contendo cerca de 3 a 4 dedos de água. Tampe e deixe ferver por cerca de 40 minutos. Certifique-se de que foram tomados todos os cuidados no manuseio da panela de pressão e do fogão. Após esfriar, abra a panela. Peça aos estudantes que retirem a cobertura de alumínio de todos os tubos e removam a tampa de metade deles.

Depois de alguns dias, se a esterilização foi benfeita, o caldo dos tubos fechados permanecerá límpido, enquanto o caldo dos tubos abertos se tornará turvo.

Com um microscópio de qualidade razoável, podem-se observar os microrganismos que contaminaram os tubos abertos. Para a observação de microrganismos fixados, oriente os estudantes para que espalhem uma gota de caldo sobre uma lâmina de vidro para microscopia, deixando secar. Em seguida, peça-lhes que passem a lâmina rapidamente sobre o fogo (bico de Bunsen, chama do fogão etc.), cuidando para que o lado com o material espalhado fique voltado para cima e não toque a chama. Solicite que espalhem um pouco do corante azul de metileno sobre o material e deixem-no agir por cerca de 3 minutos. Eles devem deixar escorrer o excesso de corante e lavar a lâmina sob um fio de água da torneira, deixando-a secar por alguns minutos. Permita que os estudantes observem a lâmina ao microscópio.

Para a observação dos microrganismos a fresco, basta orientar os estudantes a colocar uma gota de caldo sobre uma lâmina bem limpa, cobrir com a lamínula e observar. Uma sugestão é pedir que eles abram os tubos restantes em dias sucessivos, de modo que evidenciem que o caldo fica turvo somente depois de o tubo ser aberto.

Também é possível pedir que abram alguns tubos durante apenas alguns minutos, voltando a fechá-los. Aproveite para preparar lâminas com caldo retirado de tubos recém-abertos, para que os estudantes façam a comparação com as lâminas preparadas com caldos contaminados.

Estimule os estudantes a anotar os resultados. Enfatize a possibilidade de utilizar esse tipo de esterilização para evitar a contaminação de alimentos ou de recipientes (mamadeiras, copos, embalagens etc.).

2. Debate: Teria existido vida em Marte?

Em 1996, uma equipe de cientistas da Nasa anunciou ter encontrado vestígios de bactérias fossilizadas em um meteorito, denominado ALH84001, que teria vindo de Marte. A hipótese desses cientistas é que as supostas

bactérias teriam vivido em Marte há mais de 3,6 bilhões de anos. A polêmica despertada pelos supostos achados no meteorito ALH84001 é um exemplo bem atual de como os cientistas "negociam" argumentos favoráveis e contrários a uma determinada hipótese durante a elaboração do conhecimento científico. Trabalhar esse assunto com os estudantes pode ser uma excelente oportunidade para que eles entendam que a ciência procura se desenvolver sem dogmatismos, com amplo debate na comunidade científica.

Nossa sugestão para essa atividade é que se formem duas (ou mais) equipes para representar os cientistas, que debaterão o tema "Teria existido vida em Marte?". Os principais argumentos favoráveis e contrários ao tema referem-se a evidências supostamente encontradas pelos cientistas da Nasa no meteorito ALH84001 (veja a tabela na página a seguir). O resultado do debate, neste caso, é previsível: a pergunta ainda não pode ser convenientemente respondida com base nas evidências hoje disponíveis. Isso não impede, porém, que se faça uma pesquisa de opinião após o debate, para avaliar como os estudantes se envolveram com o assunto. Atividades como essa produzem excelentes resultados na motivação para estudar ciências.

A seguir, apresentamos algumas informações que ajudarão professores e estudantes na realização da atividade. A maior parte dos dados sobre o meteorito foi obtida no *site* da Nasa <http://nssdc.gsfc.nasa.gov> (acesso em: fev. 2016), no qual também podem ser encontradas informações adicionais sobre Marte e outros planetas do Sistema Solar. O trabalho original com as possíveis evidências de vida marciana no meteorito ALH84001, de McKay e colaboradores, foi publicado no número 278 da revista *Science*, de agosto de 1996, com o título *Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorit ALH84001* (que traduzimos como *À procura de vida em Marte*: possíveis vestígios de atividade biológica no meteorito marciano ALH84001).

Sobre o meteorito ALH84001

O meteorito ALH84001 foi encontrado na Antártida, em 1984, por uma expedição científica norte-americana. Seu aspecto lembrava uma batata grande, tinha cerca de 10 cm de comprimento por 4 a 5 cm de espessura e pesava quase 2 kg. Parte da superfície do meteorito estava vitrificada, em decorrência das altas temperaturas resultantes do atrito com a atmosfera terrestre durante a queda.

A rocha que compõe o ALH84001 é de natureza ígnea, tendo sido formada por atividades vulcânicas há cerca de 4,5 bilhões de anos. Nessa época, na Terra, também se formaram rochas ígneas semelhantes. A composição química do meteorito, principalmente a presença de determinados gases em seu interior, levou os cientistas a concluir que ele teria vindo de Marte.

Como o ALH84001 teria chegado à Terra? Segundo os cientistas, o forte impacto de um asteroide ou cometa sobre o planeta Marte, ocorrido há cerca de 16 milhões de anos, teria arremessado fragmentos do planeta ao espaço, onde vagaram durante longo tempo. Há cerca de 13 mil anos, alguns desses fragmentos aproximaram-se da Terra e foram atraídos pela força gravitacional terrestre, caindo como meteoritos. Ao todo, foram encontrados 11 fragmentos de uma família de meteoritos supostamente marcianos, da qual o ALH84001 faz parte. A principal evidência de que esses meteoritos vieram de Marte é a presença, em seu interior, de gases que se sabe estarem presentes na atmosfera marciana. A composição gasosa da atmosfera de Marte foi determinada pela sonda espacial norte-americana Viking, que visitou o planeta vermelho em 1976.

Entre os estudiosos resta pouca dúvida de que o ALH84001 tenha realmente vindo de Marte. Entretanto, para permitir a infiltração e a vida das supostas bactérias, a rocha que compõe o meteorito deveria ter passado um tempo suficientemente longo, em Marte, mergulhada na água líquida. Atualmente parece não existir água líquida em Marte, mas há fortíssimas evidências de que esse planeta tenha apresentado grandes rios, mares e lagos.

Evidências de possíveis fósseis microscópicos no meteorito ALH84001

As formações encontradas pelos cientistas da Nasa no meteorito ALH84001, interpretadas como evidências de vida no passado de Marte, são glóbulos de carbonato mineral, que seriam "fósseis" de seres semelhantes a bactérias. Foram levadas em conta a forma dos glóbulos de carbonato, semelhante à forma de bactérias terrestres, a presença de granulações minerais microscópicas, semelhantes às produzidas por certas bactérias da Terra, e a presença de compostos orgânicos, que podem surgir pela decomposição de bactérias terrestres. Leia, a seguir, nossa tradução do que escreveram os cientistas da Nasa sobre seu trabalho de 1996:

> Nenhuma das observações, por si só, é conclusiva da existência de vida passada em Marte. Embora haja diferentes explicações para cada um dos fenômenos considerados individualmente, quando analisados em conjunto, e tendo em vista sua associação espacial, eles são evidências da existência de vida em Marte no passado.

Os principais argumentos a favor da hipótese dos cientistas e contra ela estão sintetizados na tabela a seguir.

Distribua a uma das equipes apenas os argumentos favoráveis à hipótese e, à outra equipe, apenas os argumentos contrários, o que tornará mais animadas as discussões.

Para que os estudantes possam discorrer com mais segurança durante o debate, oriente-os a pesquisar temas relacionados ao assunto, sumariados nas seguintes questões:

- O que são bactérias e onde vivem? Quais são suas formas e tamanhos?
- Como funcionam os microscópios? Como se prepara o material para observação?
- O que são fósseis? Como se formam e como se determina sua idade?

Evidências encontradas no meteorito ALH84001	Argumentação favorável	Argumentação contrária
Glóbulos microscópicos de carbonato mineral	• Alguns glóbulos de carbonato mineral encontrados no meteorito, observados ao microscópio eletrônico, têm forma semelhante à de bactérias fósseis e à de bactérias atualmente existentes na Terra. • O tamanho dos glóbulos de carbonato é semelhante ao de pequenas bactérias terrestres que vivem incrustadas em rochas. • Meteoritos também encontrados na Antártida, mas não de origem marciana, não apresentam glóbulos de carbonato quando observados ao microscópio eletrônico com a técnica de sombreamento por metais como ouro (Au) e paládio (Pd).	• Os glóbulos de carbonato poderiam ter-se originado por algum processo inorgânico (cristalização, aquecimento e resfriamento bruscos durante a queda etc.) e sua forma "bacterioide" seria, assim, casual. • O tratamento usado para a observação microscópica (sombreamento com os metais Au/Pd) poderia ter criado artefatos de técnica, isto é, estruturas globulares surgidas devido ao tratamento. • Descontada a espessura da camada de metal usada no sombreamento, restaria aos glóbulos um volume pequeno demais para abrigar os componentes celulares mínimos.
Grânulos minerais microscópicos presentes nos glóbulos de carbonato	• Os grânulos minerais microscópicos presentes no interior dos glóbulos de carbonato são semelhantes aos que se formam no interior de bactérias da Terra. • Os grânulos minerais encontrados nos glóbulos dificilmente se formariam por processos abiológicos. • Os grânulos minerais eram compostos principalmente por magnetita (que contém ferro); em certas bactérias existentes na Terra, cristais de magnetita atuam como detectores de campo magnético para a orientação da bactéria.	• Os grânulos minerais poderiam ter se formado aqui mesmo, na Terra, após a queda do meteorito, por infiltração e cristalização de minerais nos glóbulos de carbonato. • Ainda não se conhecem suficientemente bem os processos de formação dos grânulos minerais para afirmar que eles só poderiam se formar em processos biológicos. • Marte tem campo magnético muito fraco atualmente, e não se sabe se teve campo magnético no passado, o que torna difícil explicar a existência de estruturas que detectam campo magnético nas supostas bactérias marcianas.
Compostos orgânicos presentes nos glóbulos de carbonato	• Moléculas orgânicas – hidrocarbonetos policíclicos aromáticos ou PAH – presentes nos glóbulos de carbonato podem se formar como produtos de decomposição de bactérias da Terra. • Os tipos de PAH presentes no ALH84001 diferem dos encontrados em outros meteoritos e em poeira cósmica que caíram na Terra. • A presença de maior quantidade de PAH nas partes mais internas do ALH84001 reforça a hipótese de que essas substâncias tenham se formado em Marte.	• Moléculas orgânicas de PAH semelhantes às presentes no ALH84001 são abundantes em meteoritos provenientes do cinturão de asteroides, onde nunca houve condições para a existência de vida. • Os PAH poderiam ter-se formado após a queda do meteorito na Antártida; essas substâncias são relativamente abundantes na Terra e formam-se como subprodutos da degradação e da queima de substâncias orgânicas. • Alguns tipos de PAH poderiam se formar na Terra por processos inorgânicos, sem nenhuma interferência de seres vivos.

3. Pesquisa biográfica: Pioneiros da Citologia

Uma possibilidade de pesquisa é o levantamento de informações adicionais sobre os cientistas tratados no capítulo: Antonie van Leeuwenhoek (1632--1723); Robert Hooke (1635-1703); Mathias J. Schleiden (1804-1881); Theodor Schwann (1810-1882); Robert Brown (1773-1858); Rudolph Virchow (1821-1902).

Pode-se dividir a classe em grupos e orientar os estudantes a levantar os seguintes quesitos sobre cada um dos cientistas: nome; nacionalidade; formação (onde e com quem estudou); época em que atuou; resumo de suas realizações científicas; acontecimentos importantes em outras áreas ocorridos na época em que o cientista atuou.

Após a pesquisa, os estudantes podem ser reagrupados em novos grupos, com um representante de cada grupo original. As informações trazidas por cada participante serão comparadas e discutidas para a elaboração de documentos a serem apresentados e discutidos por toda a classe. O objetivo é a elaboração de um documento único, que pode ser exposto no mural da escola ou compartilhado nas redes sociais com os estudantes de outras salas.

4. Atividade de laboratório: Familiarizando-se com o microscópio

Se houver na escola pelo menos um microscópio de qualidade razoável, vale a pena levar os estudantes a conhecer a emoção e as dificuldades da prática microscópica. Proponha que eles se baseiem nas ilustrações do Livro do Aluno para identificar as partes do microscópio: base; espelho ou lâmpada; condensador; platina; objetivas; revólver (se as objetivas forem móveis); canhão ou tubo; parafusos de focalização (macrométrico e micrométrico); ocular (ou oculares, se o microscópio for binocular).

Sugerimos que peça a eles que façam o próprio esquema do aparelho ou forneça um desenho para que eles identifiquem as partes do microscópio. Mostre onde se coloca o material biológico e enfatize que a luz deve atravessar o material antes de chegar à lente objetiva. Leve-os a concluir que o material deve ser fino o bastante para ser atravessado pela luz. Chame a atenção para os valores nominais de ampliação inscritos nas objetivas e nas oculares.

Peça aos estudantes que calculem as diferentes possibilidades de ampliação do microscópio pela multiplicação dos valores nominais da objetiva e da ocular selecionadas.

5. Atividade de laboratório: Observando as células da cortiça

A cortiça é um material de revestimento produzido do tronco de certas árvores, como o sobreiro (*Quercus suber*), com o qual se fabricam rolhas e outros utensílios. As características de maciez e de leveza da cortiça chamaram a atenção do citologista pioneiro Robert Hooke, que observou esse material ao microscópio e batizou de "células" suas microscópicas cavidades. É simples e interessante observar fatias bem finas de cortiça e assim se transportar, em imaginação, às épocas iniciais da Citologia.

Com uma lâmina de barbear nova, corte as mais finas fatias que conseguir de uma rolha de cortiça. As fatias devem ser praticamente transparentes, de modo a ter poucas camadas de células de espessura. Peça aos estudantes que coloquem as fatias de cortiça sobre uma lâmina de microscopia e cubra com uma lamínula (não use água). Oriente-os para que observem o material primeiramente em menor aumento. Se a fatia de cortiça ficar muito grossa, peça-lhes que tentem observá-la perto das extremidades, onde geralmente o corte sai mais fino. Sugira aos estudantes que façam desenhos do material observado, anotando o aumento utilizado. Peça que comparem seus desenhos com o de Hooke reproduzido no livro.

6. Atividade de laboratório: Observação vital

Para iniciar os estudantes no exame microscópico a fresco de materiais biológicos, bastam algumas lâminas e lamínulas para microscopia, estiletes feitos com agulhas ou alfinetes e materiais biológicos facilmente encontrados. A seguir, sugerimos algumas observações fáceis de realizar.

Epiderme de cebola

Para observar células vegetais, pode-se começar com a epiderme transparente que reveste as camadas (catafilos) de um bulbo de cebola. Peça aos estudantes que simplesmente destaquem um pedacinho da epiderme com a unha ou com uma pinça e coloquem-no com uma gota de água sobre uma lâmina de microscopia. Oriente-os para não deixarem que a epiderme dobre ou enrugue; se necessário, peça a eles que a alisem com um pincel. Em seguida, eles devem cobrir a lâmina com a lamínula e observar o material, sempre começando pela objetiva de menor aumento.

Peça aos estudantes que observem a epiderme de cebola a olho nu e com uma lente de aumento, sob uma iluminação bem forte, para ver se distinguem as células. Oriente-os a desenhar as células observadas e a tentar imaginar (e desenhar) sua forma tridimensional, sempre colocando setas e legendas.

Folhas de elódea

A elódea é uma planta aquática de água doce muito usada na ornamentação de aquários. Peça aos estudantes que destaquem uma folha bem fina de elódea e coloquem-na entre lâmina e lamínula com uma gota de água.

Oriente-os a observarem o material inicialmente no menor aumento. Mostre aos estudantes os grânulos esverdeados (cloroplastos) que se movem com o citoplasma celular. Sugira-lhes que desenhem as células observadas.

Pelos estaminais de trapoeraba-roxa

A trapoeraba-roxa, também conhecida como grama-roxa, é uma planta ornamental de cor viva que forma pequenas flores cor-de-rosa. Estas são excelente material para observar células vivas. Utilizamos preparações dessa planta para ilustrar o capítulo 4 (no quadro "Amplie seus conhecimentos" *Técnicas em Citologia*).

Oriente os estudantes a observarem os estames e os delicados pelos estaminais. Cada um deles é formado por um cordão de células ovaladas. Peça a eles que removam um estame e isole, com o auxílio de estiletes, apenas a parte da haste (filete) que contém os pelos. Em seguida, eles devem colocar o material entre lâmina e lamínula com uma gota de água. Peça que observem ao microscópio. Nos aumentos maiores, é possível distinguir o citoplasma fluindo dentro das células (ciclose).

7. Atividade de laboratório: Observações microscópicas

Observar organelas celulares geralmente não está ao alcance das possibilidades técnicas dos laboratórios da maioria das escolas. Além de serem necessários microscópios de boa qualidade, a preparação do material biológico quase sempre exige técnicas bastante complexas. Por exemplo, mesmo nas melhores condições, a observação de mitocôndrias ou do complexo golgiense ao microscópio fotônico decepciona quando comparada a observações de fotografias ao microscópio eletrônico.

Entre as poucas exceções, pode-se observar a ciclose em células de pelos estaminais de trapoeraba, como foi sugerido anteriormente, ou observar vacúolos e movimentos ciliares e flagelares em protozoários. Lembre-se, porém, de que essas observações só serão possíveis se o microscópio utilizado for de boa qualidade.

8. Atividade de laboratório: Observação microscópica de cloroplastos

Caso sua escola disponha de microscópios, uma atividade interessante é a observação de cloroplastos em folhas da planta aquática elódea e em epiderme de folha de tradescância, entre outros materiais.

Epiderme de tradescância

As células da epiderme das plantas não possuem cloroplastos, com exceção das células dos estômatos, nas quais eles podem ser bem visualizados.

A tradescância é uma planta ornamental rasteira, comum em jardins. Oriente os estudantes a destacarem uma folha dessa planta e dobrá-la ao meio com a superfície inferior voltada para dentro, de modo a quebrá-la. Com uma pinça, peça a eles que peguem uma das pontas expostas da epiderme inferior e destaquem um pedaço. Oriente-os a montar o material entre lâmina e lamínula com uma gota de água.

A princípio, solicite aos estudantes que observem o material no menor aumento e localizem um estômato; em seguida, peça a eles que observem no maior aumento para visualizar os cloroplastos nas células-guardas. Os estômatos são facilmente reconhecíveis pela forma arqueada típica das células estomáticas e pela presença de cloroplastos.

Aproveite para comentar com os estudantes que o ar penetra na folha pela abertura existente entre as células estomáticas, permitindo, assim, que ocorram trocas gasosas entre a planta e o ambiente.

9. Atividade de laboratório: Preparação de lâminas para observar a mitose

Caso a escola disponha de microscópios de qualidade razoável, é possível fazer as preparações de raiz de cebola, material em que é fácil encontrar células nas diversas etapas de divisão mitótica. No entanto, para evitar frustrações, é sempre bom preparar e selecionar algumas lâminas com antecedência. Preparações citológicas com as bordas da lamínula vedadas com esmalte de unha podem ser mantidas por várias semanas no congelador.

A técnica ilustrada no Livro do Aluno, no quadro "Amplie seus conhecimentos" – *Técnicas em Citologia*, do capítulo 4, utiliza a orceína como corante para os cromossomos. A orceína, comprada em pó, pode ser dissolvida em ácido acético. Uma vez preparada, uma solução de orceína acética dura anos e até melhora com o envelhecimento.

Em geral, utiliza-se 1 grama de orceína em pó para cada 70 mL de ácido acético glacial e 30 mL de água (orceína a 1% e ácido acético a 70%). A orceína não se dilui com facilidade no ácido acético, de modo que a solução deve ser colocada em um frasco hermeticamente fechado e aquecida em banho-maria (entre 70 °C e 90 °C) por várias horas, antes de ser filtrada em papel-filtro e armazenada.

A seguir são descritos os passos para o esmagamento da raiz de cebola para a observação da mitose.

1. Colocar bulbos de cebola sobre copos de pequeno diâmetro e cheios de água, de modo que as bases dos bulbos fiquem mergulhadas na água, o que estimula a formação de raízes em poucos dias.

2. Cortar as raízes a 2 mm ou 3 mm das extremidades e colocar as pontas em um tubo de ensaio com uma pequena quantidade da solução de orceína acética.
3. Com o tubo preso a um prendedor de madeira, aquecer sua lateral no fogo um pouco acima do nível do corante, até que a solução de orceína comece a ferver. Cuide para que a boca do tubo não esteja voltada para nenhuma pessoa, pois a orceína quente pode espirrar e causar queimaduras graves.
4. Após o resfriamento da solução, despejá-la em um prato de modo a facilitar a coleta das raízes, que são, então, transferidas para uma lâmina de vidro para microscopia com uma gota de orceína.
5. Picar com duas agulhas presas a bastões de madeira (estiletes) as pontas das raízes o máximo que conseguir e colocar uma lamínula sobre a gota de orceína contendo os fragmentos.
6. Colocar a lâmina, com a lamínula voltada para cima, entre as partes dobradas de um pedaço de papel absorvente, como coadores de café de papel, e pressionar a preparação com o dedo polegar para esmagar os fragmentos das raízes e espalhar suas células.
7. Após vedar as bordas da lamínula com esmalte de unha para evitar a evaporação do líquido, a preparação está pronta para ser observada ao microscópio.

10. Teatralizando a síntese de proteínas

A seguir sugerimos uma atividade de teatralização na qual os estudantes representarão a síntese de proteínas. Além de motivá-los e esclarecer pontos importantes desse processo bioquímico, a atividade permite integrar diversos tipos de habilidade (incluindo a expressão corporal) ao processo de aprendizagem. Na página a seguir apresentamos uma ilustração referente à montagem da atividade, que facilitará compreender a descrição do procedimento.

Material

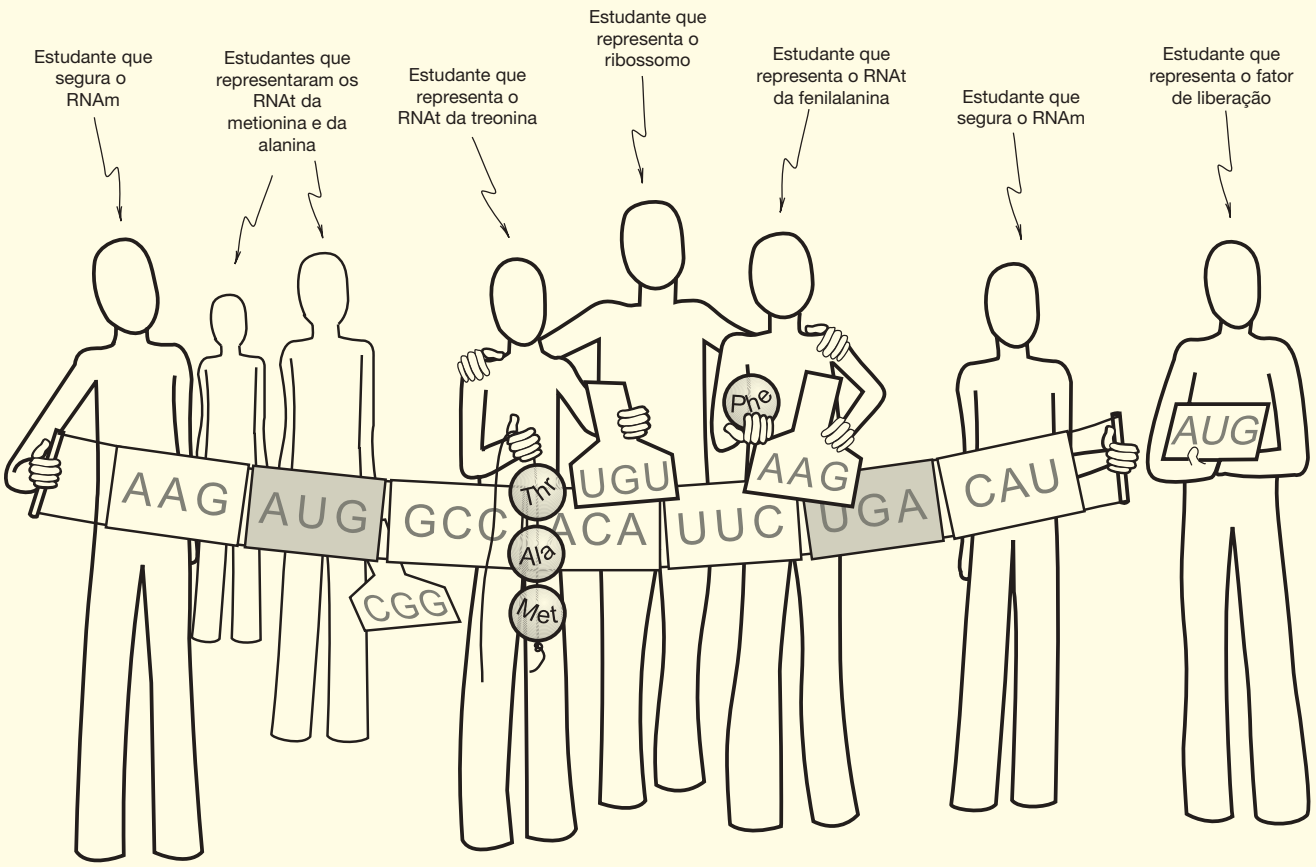
- 7 retângulos de papel-cartão branco (cerca de 20 x 30 cm);
- 5 pedaços de papel-cartão de cores diferentes (cerca de 30 x 40 cm);
- 7 metros de barbante;
- 4 esferas de isopor (cerca de 10 cm de diâmetro);
- canudinhos plásticos de refrigerante;
- cola plástica;
- fita adesiva e cola para papel;
- tinta plástica de diferentes cores;
- arame.

Procedimento

1. Construa um modelo do RNAm colando os sete retângulos de papel-cartão branco lado a lado com fita adesiva.
2. Cole dois fios de barbante ao longo das bordas das tiras de cartão, deixando cerca de 50 cm de fio livre em cada extremidade. Eventualmente, esses fios poderão ser amarrados a algum tipo de suporte, como cabos de madeira, o que facilita a tarefa de manter esticada a tira de cartões (veja a ilustração a seguir).
3. Escreva em cada cartão um códon. A sequência sugerida é AAG-AUG-GCC-ACA-UUC-UGA-CAU. Sublinhe os códons AUG (de início) e UGA (de término), por se tratar de códons especiais.
4. Desenhe, em cada pedaço de cartão colorido, modelos dos RNAt e do fator de liberação. Faça desenhos semelhantes aos da atividade de simulação da síntese de proteínas proposta na seção "Faça você mesmo!" do Livro do Aluno.
5. Escreva, nos RNAt, as trincas UAC, CGG, UGU e AAG; elas representam os anticódons.
6. Fure as esferas de isopor ao longo do diâmetro com um arame aquecido e ajuste no furo um canudo plástico, cortando o que sobrar; se necessário, use cola plástica para fixar os canudos. Eles facilitam a passagem do fio de barbante, que servirá para manter unidas as esferas.
7. Escreva em cada esfera a abreviatura de um aminoácido (Met, Ala, Thr, Phe).
8. Passe um pedaço de fio de barbante (80 cm) pelo furo da esfera identificada por Met e amarre um palito atravessado em uma das pontas do fio, de modo que a esfera não escape por ela.
9. Pinte cada esfera com uma cor semelhante à do cartão do RNAt correspondente (UAC = Met; CGG = Ala; UGU = Thr; AAG = Phe).
10. Distribua os modelos dos RNAt para quatro estudantes e solicite que cada um pegue a esfera com o aminoácido correspondente.
11. Um quinto estudante ficará com o modelo do fator de liberação.
12. Mais dois estudantes devem segurar o modelo de RNAm feito com os sete retângulos pelas pontas dos fios de barbante, mantendo-o esticado e de frente para a classe.
13. Outro estudante simulará o ribossomo, colocando-se atrás do RNAm, junto à extremidade direita (de quem olha da classe). A partir daí ele deve se deslocar para a esquerda até encontrar o códon de início.

14. O estudante que representa o RNAt da metionina deve colocar-se atrás do RNAm, à direita do "estudante-ribossomo" e tendo à sua frente o códon AUG.
15. O estudante-ribossomo deve então erguer os braços, indicando que os sítios P e A, onde se alojam os RNAt, se tornaram disponíveis.
16. O estudante-RNAt da metionina ficará sob o braço direito do estudante-ribossomo.
17. O estudante-RNAt da alanina deve ser colocado sob o braço esquerdo do estudante-ribossomo, tendo à sua frente o códon GCC. O estudante-ribossomo passa o fio de barbante pelo furo da alanina, unindo-a à metionina.
18. O estudante-RNAt da metionina solta seu aminoácido e afasta-se, encerrando sua participação.
19. O estudante-ribossomo anda para a esquerda e coloca o braço direito sobre o estudante-RNAt da alanina, ficando com o braço esquerdo livre.
20. O estudante-RNAt da treonina coloca-se sob o braço esquerdo do estudante-ribossomo, tendo à sua frente o códon ACA. O fio de barbante é passado pelo furo da esfera que representa a treonina, adicionando-a à cadeia polipeptídica.
21. O processo repete-se até que o estudante-ribossomo chegue ao códon UGA, onde entra o estudante-fator de liberação.
22. O último estudante-RNAt deve soltar o conjunto de esferas que representa a proteína. O estudante-ribossomo afasta-se do RNAm, e o processo termina.

ESQUEMA DA TEATRALIZAÇÃO DA SÍNTESE DE PROTEÍNAS



ADILSON SECCO

11. Debate: Bebês de proveta

A reprodução humana sempre foi um dos assuntos prediletos dos estudantes. Além dos aspectos naturais da reprodução, chamam a atenção as tecnologias médicas voltadas para ajudar casais a terem filhos. Uma dessas tecnologias é a fertilização *in vitro*, popularizada como "bebê de proveta". Acena-se, também, com a possibilidade de clonar seres humanos, isto é, de utilizar o núcleo das células de uma pessoa para gerar um embrião com os mesmos genes. A seriedade do assunto merece um amplo debate com os estudantes e, por isso, sugerimos esta atividade. Ela consiste na simulação de um debate sobre reprodução humana, em que os estudantes representam personagens de diferentes segmentos da sociedade. Os estudantes devem tentar chegar a algum consenso no que se refere a legislações e a condutas éticas sobre a fertilização *in vitro*.

Texto de referência

Fertilização *in vitro* e comércio de embriões

Desde o nascimento de Louise Brown, o primeiro bebê de proveta, em 1978, muita coisa mudou. Nos EUA já há centros de reprodução assistida nos quais se pode escolher, em um catálogo, uma doadora de ovócitos ou um doador de espermatozoides. Embora os negócios movimentem milhões de dólares, não se fala em comércio, mas sim em "doação" de ovócitos, de espermatozoides e de embriões.

No Brasil, apesar de a legislação ser mais rígida que a norte-americana, muitas mulheres já tiveram filhos utilizando técnicas de fertilização *in vitro*. Esta consiste em estimular, pela injeção de hormônios, a maturação de ovócitos nos ovários.

Geralmente, por meio de uma punção no abdome, o médico retira alguns ovócitos maduros – entre 10 e 15 – e promove a fecundação com espermatozoides em um tubo de vidro apropriado. Depois de alguns dias, até quatro embriões, já em fase de blastocisto, são implantados no útero. Geralmente um se desenvolve, mas também há casos em que todos morrem e casos em que dois, três ou quatro embriões se desenvolvem.

Mulheres que não podem ter filhos devido a obstruções nos ovidutos podem extrair seus ovócitos e fecundá-los com espermatozoides de um doador. Homens com baixa produção de espermatozoides também são beneficiados pelas técnicas de reprodução assistida. Seus espermatozoides podem ser extraídos diretamente dos testículos e injetados, com uma microagulha, nos ovócitos da mulher.

Embriões não utilizados podem ser congelados e guardados por vários anos, mantendo-se vivos e podendo ser implantados no momento em que se desejar. De uma irmandade de embriões, todos originários de ovócitos de um mesmo ciclo e fecundados ao mesmo tempo, podem nascer "gêmeos" fraternos de idades diferentes.

Comenta-se que médicos aconselham casais a "doar" embriões que não foram implantados em uma fertilização *in vitro* para outras famílias, o que constituiria, no Brasil, comércio ilegal. Nos EUA, mulheres consideradas bonitas pelos padrões dominantes oferecem seus ovócitos pela bagatela de US$ 50 mil. Não deixa de ser assustador o depoimento de Lyne Macklin, do Centro de Gravidez Secundária e Doação de Óvulos, na Califórnia, sobre a escolha da doadora de ovócitos ideal: "Se você pode escolher entre um Volkswagen e um Mercedes, você escolhe um Mercedes". O Mercedes, no caso, seriam os ovócitos de uma mulher alta, loira, de olhos azuis e inteligência superior à média.

Preparando o debate

A primeira providência para realizar o debate sobre reprodução humana é a leitura do texto de referência e uma conversa com os estudantes sobre a fertilização *in vitro*. Lembre-se de que esse assunto é polêmico e envolve valores morais, éticos, pragmáticos e religiosos. Tenha em mente alguns dos possíveis representantes do debate: médicos, biólogos, religiosos, psicólogos, filósofos, professores, representantes dos direitos das mulheres, membros de algum conselho de ética, pais de pessoas nascidas com a técnica de fertilização *in vitro* e assim por diante. Avalie o interesse dos estudantes quanto à representação das personagens dos debatedores. Lembre-se de que uma mesa de debates com muitos participantes é mais rica, porém mais difícil de coordenar.

Etapas sugeridas

A) Fase preliminar

Apresentação da proposta de atividade aos estudantes. Levantamento prévio dos interesses quanto às personagens dos debatedores.

B) Fase de planejamento

I. Objetivos: definição clara dos objetivos da atividade. A nossa proposta com esta atividade é permitir que o aluno aplique os conhecimentos sobre reprodução e desenvolvimento na formação de juízo de valores em assuntos polêmicos da cidadania, tais como controle da reprodução, aborto, clonagem etc. Lembre-se de se questionar como a atividade pode integrar o maior número possível de áreas do conhecimento, apropriando-se do conteúdo de outras disciplinas.

Outros objetivos da atividade seriam:

- Estabelecer maior envolvimento e motivação por parte dos estudantes, com possibilidade de aplicar definições e conceitos biológicos sobre reprodução e desenvolvimento em problemas práticos, tais como a fertilização *in vitro*, o aborto, a clonagem etc.
- Desenvolver o espírito de iniciativa e a capacidade de pesquisar e de organizar dados de um assunto, elaborando argumentos para discuti-lo.
- Desenvolver a expressão oral e escrita e a capacidade de trabalhar em equipe organizadamente.

II. Estratégias e metodologia: planeje as tarefas de pesquisa que serão atribuídas aos estudantes (entrevistas, pesquisa bibliográfica, pesquisa na internet etc.). Se trabalhar em grupos, sugira aos estudantes que escolham um coordenador responsável pelo acompanhamento das pesquisas e pela resolução de dúvidas com o professor;

além de facilitar o trabalho, esse procedimento ajuda os estudantes a vivenciar papéis de coordenação e liderança. Decida como vai assessorar os estudantes durante o período em que eles estiverem pesquisando. Antecipe as linhas gerais e as regras do debate, pense nos participantes e na melhor pessoa para ser o mediador. Decida que materiais escritos os estudantes devem apresentar: podem ser relatórios da pesquisa, textos que resumam as ideias defendidas pelos debatedores etc. Em nossa opinião, é muito importante que qualquer trabalho tenha sempre um texto como produto. Planeje também, se possível, como será feita a avaliação do trabalho.

III. Dimensionamento e alocação de recursos: estabeleça, em acordo com a direção da escola, quais as condições materiais necessárias à atividade (salas, equipamentos e materiais diversos). Se a escola ou algum estudante dispuser de equipamento para gravar áudio e vídeo (gravador ou câmera de vídeo, presentes em muitos aparelhos celulares), não deixe de utilizar esse recurso. Além de extremamente motivador, ouvir e assistir às gravações permitirá corrigir eventuais erros e ter ideias para novas atividades. Fotografar os participantes em debate também é uma forma de registro interessante e amplamente acessível. As fotografias podem enriquecer relatórios, jornais, murais e outros produtos da atividade.

IV. Cronograma: marque a data do debate com bastante antecedência. Não se esqueça de definir as datas em que os estudantes têm de concluir suas pesquisas e preparações. O acompanhamento rigoroso do cronograma é fundamental para o bom resultado do debate.

C) Fase de execução

Os estudantes devem se preparar para o debate. Essa preparação pode incluir pesquisas (em livros, jornais, revistas, CDs, vídeos, internet etc.), entrevistas, preparação de textos, desenhos, cartazes, murais etc., além das reuniões para acompanhamento e orientação.

Finalmente, ocorre o debate, com apresentação oral da mesa debatedora, eventualmente acompanhada pelos outros produtos da atividade: textos, folhetos de propaganda e esclarecimento, cartazes pró ou contra, desenhos, fotografias etc.

D) Avaliação

É fundamental avaliar a participação dos estudantes no debate e se questionar em que medida os objetivos originalmente propostos foram atingidos. É também importante a autoavaliação de cada participante, incluindo a professora ou o professor, com o objetivo de levantar o que poderá ser melhorado em novas atividades que se realizarem.

8 Respostas/Encaminhamentos

MÓDULO 1 A NATUREZA DA VIDA

CAPÍTULO 1
Biologia: ciência e vida

Questões para exercitar o pensamento

11. a) A provável hipótese testada foi que alguns aminoácidos são essenciais à sobrevivência das larvas.

b) O grupo de controle era representado pelo grupo de larvas alimentado com dieta completa (com todos os 20 tipos de aminoácidos naturais, além de água, sais, açúcares e vitaminas). Esse grupo foi importante para o experimento porque permitiu verificar se possíveis alterações na taxa de sobrevivência das larvas realmente eram decorrentes da falta de certos aminoácidos em sua dieta, e não de algum outro fator.

c) A variável testada nos grupos experimentais foi a ausência de determinados aminoácidos na dieta das larvas.

d) As conclusões são: 1. nem todos os aminoácidos são fundamentais à sobrevivência, uma vez que os grupos que não receberam glutamina e glicina tiveram comportamento semelhante ao do grupo de controle; 2. alguns aminoácidos são essenciais, isto é, sem eles as larvas não sobrevivem ou a sobrevivência é muito pequena (entre os aminoácidos testados, valina, leucina e isoleucina).

Faça você mesmo!

12. A atividade tem por objetivo reproduzir as etapas do método científico do tipo hipotético-dedutivo. Além disso, ela propõe a elaboração de um relatório científico, permitindo aos estudantes que se familiarizem com esse tipo de documento. Uma possibilidade é que os estudantes se dividam em sete grupos. Cada grupo ficará responsável por uma bandeja com oito sementes de feijão, regando-a sempre que necessário. Nesse caso, porém, é preciso esclarecer que eles deverão observar e anotar o progresso das plantas das outras bandejas, e não apenas daquela que está sendo cuidada pelo grupo.

A atividade permite a integração com a disciplina de Matemática ao solicitar aos estudantes que elaborem gráficos com os resultados obtidos no experimento. Uma sugestão é que os resultados e as questões propostas na atividade sejam discutidos com toda a classe.

Na elaboração dos relatórios, é importante que os estudantes percebam que esse documento deve conter informações claras e objetivas que permitam que outras pessoas identifiquem os objetivos da atividade e consigam reproduzi-la. Vale ressaltar a importância das referências bibliográficas como fonte de informações adicionais e relevantes sobre o tema do trabalho científico. O *site* <www.fisiologia vegetal.ufc.br/APOSTILA/DORMENCIA_GERMINACAO.pdf>, da Universidade Federal do Ceará, traz informações que podem dar respaldo às discussões dos resultados da atividade sugerida. Vale lembrar que os resultados podem variar, mas espera-se que os estudantes percebam diferenças significativas no crescimento das plantas dos grupos experimentais e das plantas do grupo de controle. Os cotilédones são fontes de substâncias de reserva utilizadas no crescimento inicial da planta e, quando são retirados precocemente, a planta perde essa fonte de nutrição. Portanto, espera-se que o crescimento das plantas dos grupos experimentais seja menor do que aquele observado nas plantas do grupo de controle, que mantiveram os cotilédones. Em relação aos grupos experimentais, espera-se que as plantas daqueles que tiveram os cotilédones extraídos nos primeiros dias apresentem redução mais drástica do crescimento do que aquelas que tiveram os cotilédones extraídos em momentos subsequentes. É possível fazer uma relação: quanto mais precoce for a extração dos cotilédones, pior será o desenvolvimento das plantas de feijão. Incentive os estudantes a perceberem que, quanto mais tarde ocorrer a extração dos cotilédones, menor será a redução do crescimento das plantas comparado com o grupo de controle. Ajude os estudantes a concluírem que, se os resultados obtidos forem próximos aos esperados, ou seja, se eles perceberem uma redução no crescimento das plantas das quais os cotilédones foram removidos, a hipótese inicial de que os cotilédones armazenam alimento necessário ao desenvolvimento inicial da planta foi confirmada.

A Biologia no vestibular e no Enem

9. a) Comunidade biológica ou biocenose.

b) Ecossistema.

10. Algumas características que permitem afirmar que um dos ratinhos é um ser vivo são: necessidade de alimento para obtenção de energia, capacidade de reprodução e capacidade de movimentação.

CAPÍTULO 2
Origem da vida na Terra

Questões para exercitar o pensamento

11. **a)** Espera-se que o estudante relacione o termo "estéril" com a ausência de microrganismos. Esclareça que o processo UHT livra o alimento de microrganismos patogênicos e dos que causam a deterioração do alimento.

b) A refrigeração, após a abertura da embalagem, visa manter a qualidade do alimento, evitando a deterioração pela proliferação dos microrganismos que penetram na embalagem aberta.

c) A pasteurização consiste no aquecimento brando do alimento, que elimina apenas certos microrganismos patogênicos, enquanto o processo UHT consiste no aquecimento em altas temperaturas por curtos intervalos de tempo, o que esteriliza o leite.

12. É preciso lembrar aos estudantes que os períodos de tempo são estimados, já que são eventos que ocorreram há bilhões de anos. A intenção desse exercício é levá-los a reconhecer a sequência temporal dos acontecimentos, desde a formação do universo até o surgimento dos primeiros seres vivos na Terra. Se preciso, ajude-os a elaborar a linha de tempo e aproveite a oportunidade para recordar a importância dos eventos citados e as teorias envolvidas em cada um. Algumas referências que constam no capítulo são:

a) *big bang*: cerca de 13,7 bilhões de anos atrás;

b) origem do elemento hidrogênio: algumas centenas de milhares de anos após o *big bang* (cerca de 400 mil anos após o *big bang*);

c) origem das primeiras estrelas: algumas centenas de milhões de anos após o *big bang*;

d) origem do Sistema Solar: cerca de 4,6 bilhões de anos atrás;

e) origem da Terra: entre 4,6 e 4,5 bilhões de anos atrás;

f) surgimento dos primeiros oceanos: quando a Terra tinha cerca de 500 milhões de anos de idade;

g) surgimento dos primeiros seres vivos: provavelmente após a formação dos primeiros oceanos.

Faça você mesmo!

13. A atividade permite a integração com a disciplina de Língua Portuguesa e possibilita avaliar se o estudante consegue extrair as informações centrais de um texto, além de transmiti-las de forma simplificada para o público em geral. É importante ressaltar que é preciso ficar atento para que, no momento de resumir e simplificar as informações, erros conceituais não sejam inseridos no texto. Por isso sugira aos estudantes, se necessário, que peçam ajuda ao professor de Química, já que o texto explora conceitos típicos dessa disciplina.

Uma sugestão para ilustrar quanto a diagramação influencia na leitura e compreensão do texto é apresentar aos estudantes um texto em versão diagramada e o mesmo texto em versão não diagramada. Pergunte a eles qual texto foi mais fácil de ser lido e compreendido. Vale ressaltar também a importância das legendas e das fontes das figuras em um texto.

A Biologia no vestibular e no Enem

5. A bactéria seria autótrofa quimiossintetizante, que utilizaria a energia proveniente de uma reação química inorgânica, cujos reagentes estariam presentes em fendas vulcânicas oceânicas.

6. **a)** Os cientistas testaram a hipótese de que os supostos gases da atmosfera primitiva poderiam formar, espontaneamente, os compostos orgânicos que originaram as primeiras formas viventes no planeta Terra.

b) Aminoácidos.

c) O gás oxigênio da Terra é um produto da fotossíntese e só pode ter surgido após o aparecimento dos organismos fotossintetizantes, que, dada a sua complexidade, se supõe que surgiram posteriormente às primeiras formas de vida.

CAPÍTULO 3
Bases moleculares da vida

Questões para exercitar o pensamento

6. Como resultado do trabalho, os estudantes podem apresentar uma tabela como a representada a seguir.

Informações nutricionais de alguns alimentos

Alimento (100 g)	Proteínas	Carboidratos	Lipídios
Queijo padrão	24,0 g	1,0 g	23,0 g
Leite pasteurizado semidesnatado	3,2 g	4,8 g	0,2 g

Alimento (100 g)	Proteínas	Carboidratos	Lipídios
Pão natural de trigo integral	10,0 g	48,0 g	2,5 g
Alimento achocolatado em pó	4,8 g	84,2 g	2,8 g
Cereal matinal de aveia, milho, arroz e coco	8,0 g	75,0 g	5,0 g
Requeijão cremoso *light*	13,0 g	2,5 g	13,7 g
Maionese de baixo valor lipídico	1,0 g	8,0 g	33,0 g
Queijo em tabletes	12,4 g	3,5 g	25,2 g

7. **a)** Os números correspondem a: 1) grupo carboxílico ou carboxila ($-COOH$); 2) grupo amina ($-NH_2$); 3) hidrogênio ($-H$); 4) radical ($-R$).

b) O grupo 4 (radical).

8. Resposta pessoal.

9. I. Trata-se de RNA, pois somente esse ácido nucleico tem ribose em sua constituição.

II. Trata-se de DNA, pois somente esse ácido nucleico tem timina em sua constituição.

III. Trata-se de RNA, pois somente esse ácido nucleico tem uracila em sua constituição.

IV. Trata-se de DNA, pois somente esse ácido nucleico tem desoxirribose em sua constituição.

10. **a)** A faixa de pH mais favorável à ação dessa enzima está entre 1 e 3.

b) A pepsina deixa de atuar em pH igual ou maior que 4.

A Biologia no vestibular e no Enem

7. **a)** Vitamina C.

b) Atuam como cofatores em reações enzimáticas.

8. **a)** Pela ingestão de vegetais. Porque o β-caroteno origina a vitamina A, a partir da qual é produzido o pigmento (rodopsina) necessário para a visão.

b) Estrutura de membranas celulares e controle hormonal. Esteroides: colesterol, progesterona, testosterona.

c) Animais: tecido adiposo. Vegetais: sementes e frutos.

MÓDULO 2 CITOLOGIA

CAPÍTULO 4
A descoberta das células

Questão para exercitar o pensamento

14. Com aumento de 2.000 vezes, os diâmetros da imagem da célula e de seu núcleo eram, respectivamente, 17,5 cm e 4,25 cm; portanto, seus diâmetros reais na célula são 87,5 µm e 21,25 µm.

Faça você mesmo!

15. A atividade visa exercitar a habilidade de elaborar um relatório e permite que os estudantes entendam o conceito de poder de resolução. Eles devem observar as imagens selecionadas utilizando os instrumentos disponíveis. Oriente-os a registrar suas percepções para cada instrumento e, depois, elejam o instrumento que proporcionou o melhor poder de resolução. Espera-se que eles apontem, em ordem de resolução crescente, os óculos, as lupas e o microscópio.

Relembre os principais itens de um relatório e ajude os estudantes em eventuais dúvidas. Ressalte que todo relatório deve conter o objetivo da atividade, o material empregado e o procedimento realizado, os resultados e a discussão, na qual será apresentada, nesse caso, a resposta para a questão proposta na atividade.

Essa atividade traz a oportunidade de conversar com os estudantes sobre a importância do microscópio para a ciência, especialmente para a Biologia.

A Biologia no vestibular e no Enem

8. **a)** As células dos seres procariontes não apresentam núcleo organizado (ausência de carioteca). O material genético fica disperso no citoplasma, que é desprovido de organelas membranosas. Nas células dos eucariontes, existe núcleo organizado, com carioteca e nucléolo; o citoplasma contém organelas membranosas.

b) Em bactérias e arqueas.

CAPÍTULO 5
Membrana celular e citoplasma

Questões para exercitar o pensamento

20. Espera-se que o estudante perceba que a configuração de uma biomembrana (explicada pelo modelo de Singer e Nicolson) só se mantém em ambientes

aquosos. Convém ressaltar a importância da integridade da membrana plasmática para que a célula se mantenha viva e desempenhe adequadamente suas funções.

21. A difusão será mais rápida no recipiente com água quente, no qual o movimento das partículas da água é mais intenso (maior energia cinética), levando as partículas de tinta a se espalharem mais depressa.

22. As concentrações das soluções dos tubos e do frasco tenderão a se igualar. Assim, após algum tempo, no tubo 1 o nível de líquido deverá subir (maior quantidade de solvente tende a atravessar a membrana no sentido frasco → tubo); no tubo 2 não ocorrerá variação no nível de líquido (mesma quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana em ambos os sentidos); no tubo 3 o nível de líquido deverá abaixar (maior quantidade de solvente tenderá a atravessar a membrana no sentido tubo → frasco).

23. A manutenção da diferença de concentração de certa substância dentro e fora da célula pode ser explicada pelo seu bombeamento para o interior da célula por transporte ativo, que ocorre contra a tendência natural da difusão e com gasto de energia pela célula.

Faça você mesmo!

24. Os estudantes devem ser capazes de explicar, baseando-se no princípio da osmose, por que o ovo aumenta ou diminui de volume dependendo da solução em que foi mergulhado. Os resultados esperados na primeira etapa desse experimento são: os ovos mergulhados na solução concentrada de açúcar perdem água e ficam menores e enrugados; os ovos mergulhados em água filtrada ficam maiores, túrgidos. A primeira etapa desse experimento pode ser observada em vídeo disponível em <www.youtube.com/watch?v=GDgKTArZI3E> (acesso em: abr. 2016).

Na segunda etapa do experimento, quando um dos ovos de cada solução é transferido para a outra, espera-se que o ovo que estava na solução concentrada de açúcar e foi para a solução de água volte a inchar pela absorção de água. O ovo que estava na água e foi transferido para a solução com açúcar deve perder água, ficando menor e, se permanecer por mais algum tempo, pode ficar com aspecto murcho. A conclusão é que o ovo mergulhado na água incha por causa da entrada de água por osmose, já que a solução interna é hipertônica em relação ao meio. O ovo mergulhado na solução de água com açúcar murcha por causa da saída de água por osmose, o que indica que a solução do copo é hipertônica em relação à solução interna do ovo. Vale lembrar que as moléculas de sacarose não atravessam a membrana coquilífera.

Essa atividade permite a integração com a disciplina de Química. Se julgar oportuno, convide o professor dessa disciplina para participar da observação dos resultados da atividade, permitindo que ele explique a reação química envolvida na remoção da casca calcária do ovo ou reveja conceitos e esclareça eventuais dúvidas dos estudantes. O professor pode propor aos estudantes que registrem o que foi observado por meio de fotografias ou criem um vídeo que mostre os passos do experimento e os resultados obtidos. Atividades como essa podem ser apresentadas em uma feira de ciências.

25. A atividade permite que os estudantes comecem a formar uma visão espacial da célula. As representações apresentadas em livros nem sempre são claras para os estudantes. É importante orientar os estudantes em relação ao tamanho dos elementos de uma célula. Para isso, uma sugestão é que os estudantes pesquisem o tamanho das estruturas e organelas de uma célula e as ordenem de forma crescente. Se julgar oportuno, a atividade pode ser modificada solicitando aos estudantes que criem modelos de células procariontes e de células eucariontes (animal ou vegetal). Durante a apresentação dos modelos, os estudantes podem listar as principais diferenças entre as células. A atividade permite a integração com a disciplina de Arte e pode ser complementada com uma exposição dos modelos criados pelos estudantes.

26. A atividade permite que os estudantes formem uma visão tridimensional da célula como um todo e de suas organelas. Inicialmente, o professor pode rever com os estudantes os tipos de cortes de uma célula ou estrutura, salientando o que são os planos sagital, transversal e longitudinal. Os diversos tipos de cortes permitem observar e representar aspectos diferentes do mesmo objeto ou estrutura. Os cortes comuns em Biologia são: o corte sagital, que divide o organismo ao meio, separando os lados direito e esquerdo; o corte transversal, que separa a parte frontal, ou superior, da parte caudal, ou inferior; e o corte longitudinal, que corta toda a longitude do organismo. No endereço eletrônico <www.ead.hemocentro.fmrp.usp.br/joomla/index.php/programas/adote-um-cientista/88-cortes-anatomicos> (acesso em: abr. 2016), é possível obter mais informações sobre cortes anatômicos.

Uma sugestão é usar os modelos tridimensionais elaborados pelos estudantes na atividade "Construção de modelos: Modelos tridimensionais de células" para diferenciar os tipos de cortes. É importante também explicar como inserir a escala apropriada no esquema. A atividade permite a integração com geometria espacial. Os desenhos elaborados podem ser apresentados com os modelos tridimensionais de células.

27. A atividade permite a integração da Biologia com as disciplinas de Educação Física e Língua Portuguesa. Se julgar oportuno, é possível combinar com o professor de Língua Portuguesa para que ele auxilie os estudantes na elaboração e construção do texto. É importante que os estudantes consigam extrair as informações centrais do texto e foquem suas ideias no tema proposto. Incentive-os a serem criativos na escolha do título da matéria. O professor de Educação Física pode contribuir com seus conhecimentos sobre os benefícios da atividade física na qualidade de vida. A atividade final pode ser publicada no *blog* da escola.

A Biologia no vestibular e no Enem

8. **a)** X: fosfolipídio; Y: proteína.

b) A passagem de substâncias do interior para o exterior das células pode ocorrer através das proteínas que compõem a membrana plasmática; pode ocorrer também pela fusão das bolsas de secreção com a membrana.

9. Os lisossomos são bolsas membranosas repletas de enzimas digestivas. Essas enzimas são produzidas no retículo endoplasmático granuloso e "empacotadas" no complexo golgiense, dando origem aos lisossomos primários. O alimento obtido pelo processo de fagocitose será digerido pelas enzimas presentes no lisossomo. Para isso, o lisossomo deve unir-se ao fagossomo, formando o vacúolo digestivo, também denominado lisossomo secundário. Terminada a digestão, as substâncias úteis são liberadas no citosol e os resíduos são eliminados por clasmocitose.

CAPÍTULO 6
Núcleo celular, mitose e síntese de proteínas

Questões para exercitar o pensamento

20. As células precursoras das hemácias (os eritroblastos) têm núcleo enquanto estão na medula de certos ossos, na qual se formam. O núcleo é eliminado da célula pouco antes de a hemácia entrar no sangue, uma adaptação da célula para conter mais hemoglobina, o que permite maior transporte de gás oxigênio. Hemácias, portanto, são células eucarióticas que perdem o núcleo por diferenciação. Células procarióticas não apresentam núcleo (carioteca ausente) nem organelas membranosas citoplasmáticas, estando presentes apenas em bactérias e arqueas. Portanto, o fato de não terem núcleo não implica que hemácias maduras sejam células procarióticas.

21. Espera-se que o estudante chegue à conclusão de que os pesquisadores usaram ovelhas com características distintas para saberem qual ovelha transmitiu as características para o clone, logo, qual parte da célula era responsável pela transmissão das características hereditárias.

22. As siglas T1, T2 e T3 correspondem à interfase, sendo T1 = G1, T2 = S e T3 = G2. T4 corresponde à mitose.

23. **a)** AUG, que corresponde ao códon de início da tradução e codifica o aminoácido metionina.

b) UGA, que corresponde ao códon de parada.

c) metionina – leucina – leucina – treonina – isoleucina.

24. As duas cadeias de DNA são:

TGACTGTACAATGAGTGATAAACTCGTCCATT

ACTGACATGTTACTCACTATTTGACAGGTAA

A cadeia transcrita é a primeira.

25. O RNAm teria a sequência ACUGAC.AUG.UUA.CUC.GCU.AUU.UGA.CAGGUAA (os códons codificadores estão separados por pontos), com a troca da 16ª base de A para G. O quarto códon passaria a ser GCU, que codifica alanina, em lugar de ACU, codificador de treonina, e a sequência do polipeptídio codificado por esse RNA seria: metionina – leucina – leucina – **alanina** – isoleucina.

26. O RNAm teria a sequência ACUGAC.AUG.UUA.CUC.**CUA.UUU.GAC.AGG.UAA**, com mudança dos códons a partir da 16ª base (os códons codificadores estão separados por pontos). O polipeptídio codificado teria 7 aminoácidos, pois a síntese só pararia no códon UAA, um dos três códons *pare*. A sequência de aminoácidos seria: metionina – leucina – leucina – **leucina** – **fenilalanina** – **ácido aspártico** – **arginina**.

Faça você mesmo!

27. É importante que os estudantes consigam, ao final da atividade, visualizar a mitose como um processo dinâmico. Aproveite a oportunidade para reforçar conceitos como o de célula diploide, cromossomos homólogos, cromátide e centrômero. Exemplos de atividades bastante semelhantes podem ser observados na internet, como o sugerido a seguir:

- Meiose e as leis de Mendel. Disponível em: <www.ib.usp.br/microgene/index.php?pagina=atividades&categoria=Manual do Professor&idcategoria=3&tabela=manuais&start=5&page_count=5>. Acesso em: abr. 2016.

Nesse endereço eletrônico, é possível obter mais informações e subsídios que podem dar maior respaldo para discussões sobre a atividade em sala de aula.

Incentive os estudantes a discutir as etapas representadas e os elementos essenciais do processo mitótico. Se julgar oportuno, permita que eles usem diferentes materiais além dos citados. A atividade permite a integração com a disciplina de Arte. Se possível, combine com o professor dessa disciplina a colaboração dele na elaboração da animação. O material final dessa atividade pode ser publicado no *blog* da escola.

28. As respostas às questões propostas podem ser debatidas em grupo: 1. O detergente atua desestruturando as moléculas de lipídio das membranas biológicas, desintegrando os núcleos e os cromossomos das células da cebola, liberando assim o DNA. O dodecil (ou lauril) sulfato de sódio, presente na fórmula do detergente, desnatura as proteínas, separando-as do DNA cromossômico. 2. O álcool gelado, em ambiente salino, diminui a solubilidade do DNA e faz com que as moléculas se precipitem, formando a massa filamentosa e esbranquiçada que ficará aderida ao bastão. O sal neutraliza a carga negativa dos fosfatos presentes nas moléculas de DNA, formando o ambiente adequado para a extração do material genético.

Recomendamos que prepare previamente o material para a atividade e garanta que o álcool esteja gelado no momento de sua utilização. Ao final do experimento, se houver tempo, peça aos estudantes que elaborem um relatório descrevendo os objetivos da atividade, o procedimento empregado e os resultados observados.

Mais detalhes sobre experimentos com DNA vegetal podem ser obtidos no endereço eletrônico <http://www.ib.usp.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=47&Itemid=98> (acesso em: abr. 2016).

29. A simulação permite consolidar o aprendizado sobre o processo de síntese de proteínas. No endereço eletrônico <http://highered.mcgraw-hill.com/olc/dl/120077/micro06.swf> (acesso em: abr. 2016), é possível assistir a uma animação sobre esse processo. Se julgar oportuno, permita que os estudantes assistam a ela antes da simulação. Essa atividade exige preparo prévio tanto do professor quanto dos estudantes. Recomendamos que o professor faça a simulação para que, se solicitado pelos estudantes, possa desfazer as dúvidas e mostrar como deve ser a dinâmica. Defina com os estudantes como eles farão o registro da simulação (vídeo, fotos etc.) e, na data marcada, levem os equipamentos necessários. Os produtos finais, mostrando a dinâmica em sala de aula e o processo de síntese proteica, podem ser disponibilizados no *blog* da escola ou em uma exposição organizada pela classe.

A Biologia no vestibular e no Enem

11. Teria as características da espécie A, porque as características hereditárias são determinadas pelos genes presentes no núcleo das células e ele deriva da espécie A.

12. a) A célula do esquema é uma célula somática diploide e, como se pode ver na figura da anáfase, possui 4 cromossomos ($2n = 4$). Uma célula haploide desse organismo apresentará 2 cromossomos.

b) Pelas características mostradas nas figuras (citocinese centrípeta, presença de centríolos nos centrossomos e ausência de parede celular), pode-se concluir que se trata de uma célula animal.

13. a) Como C = G e C + G = 58%, temos:

$$C = G = \frac{58\%}{2} = 29\%$$

Da mesma forma, como A = T e A + T = 42% (100% − 58%), temos A = T = 21%.

b) Porque a proporção de bases apresentada se refere às duas cadeias da molécula de DNA, não sendo possível determinar a proporção de citosina na cadeia que será transcrita.

14. a) Os "corrimãos" correspondem aos fosfatos e pentoses unidos intercaladamente, enquanto os "degraus" correspondem aos pares de bases nitrogenadas unidas por ligações (pontes) de hidrogênio.

b) Uma das cadeias do DNA serve de molde para a síntese de RNA. Na síntese de proteínas, os aminoácidos são ordenados de acordo com a sequência de trincas de bases nitrogenadas (códons) da molécula de RNA mensageiro.

c) Proteínas podem ser diferenciadas pelos tipos, números e sequência de aminoácidos de suas cadeias polipeptídicas.

15. Sim, pois o DNA contém, codificadas em suas sequências de bases nitrogenadas, as informações para a síntese das proteínas, as quais determinam a estrutura e o funcionamento das células. Assim, uma alteração no DNA pode levar à produção de uma proteína alterada, o que pode comprometer processos e/ou estruturas dependentes dessa proteína.

16. a) A transcrição ocorre no núcleo das células eucarióticas, e a tradução ocorre no citoplasma, no qual atuam os ribossomos. Nas mitocôndrias também ocorre transcrição a partir do DNA mitocondrial com produção de RNAm, RNAt e RNAr, que atuam dentro da organela na síntese de certas proteínas mitocondriais.

b) Como os ribossomos, responsáveis pela síntese das proteínas, são produzidos nos nucléolos das células eucarióticas, se a região organizadora do nucléolo for inativada, não haverá produção de ribossomos e a síntese de proteínas cessará, com consequente morte da célula.

MÓDULO 3 METABOLISMO ENERGÉTICO

CAPÍTULO 7
Fotossíntese e quimiossíntese

Questões para exercitar o pensamento

7. A segunda equação: $6\,CO_2 + 12\,H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 + + 6\,H_2O$. Para formar $6\,O_2$, como mostrado na equação, são necessárias 12 moléculas de água (H_2O), e esse é o número de moléculas que deveria constar nos reagentes. Sobrariam 6 átomos de oxigênio liberados pelo gás carbônico, os quais, na fotossíntese, originam a água. Assim, ao colocar o coeficiente 12 para as moléculas de água reagentes e 6 para as moléculas de água produzidas, a equação mostra que 12 moléculas de água foram consumidas no processo e foram produzidas 6.

8. Espera-se que o estudante perceba que os seres vivos precisam obter continuamente energia para manter sua organização corporal e realizar suas atividades. A energia metabólica é retirada de moléculas orgânicas dos alimentos, que se transformam em substâncias inorgânicas, gás carbônico (CO_2) e água (H_2O), liberando energia. A reposição das moléculas orgânicas a partir dessas substâncias inorgânicas se dá por meio da fotossíntese, processo em que a energia luminosa do Sol é transformada em energia química. É a matéria orgânica produzida na fotossíntese que serve de alimento para praticamente todos os seres heterotróficos, incapazes de sintetizar o próprio alimento. Assim, em última análise, todos os seres heterotróficos, incluindo os seres humanos, dependem da luz solar para viver.

Faça você mesmo!

9. A atividade pode ser feita em grupo e permite que os estudantes comprovem a importância da luz para o processo de fotossíntese. Essa comprovação se dá pela comparação da produção de gás (oxigênio) no tubo de ensaio do conjunto iluminado com a do conjunto que permanece no escuro. O resultado esperado é uma maior produção de gás no tubo de ensaio da planta que permaneceu em local iluminado, demonstrando assim a importância da luz para o processo de fotossíntese.

Para a pergunta **b**, é possível que os estudantes apresentem diferentes respostas. É importante discutir com eles todas as sugestões levantadas. Uma forma de testar se o gás formado é o gás oxigênio é acender um fósforo, apagá-lo deixando o palito em brasa e colocá-lo no interior do tubo de ensaio. Se houver o aumento da brasa do palito ou até mesmo voltar a se acender, comprova-se que o gás é oxigênio, pois apresentou a característica de ser um gás comburente.

As etapas do experimento e os resultados podem ser registrados em fotografias ou desenhos. A atividade permite a integração com a disciplina de Química ao abordar as reações químicas envolvidas no processo de fotossíntese.

10. A atividade permite que os estudantes reconheçam o amido como um dos produtos formados a partir dos glicídios oriundos da fotossíntese. O experimento necessita de cerca de três semanas para ser feito; por isso é importante fazer um planejamento, garantindo que haja tempo suficiente para a sua realização e que coincida com o estudo do tópico relacionado.

O resultado esperado para esse experimento é que as folhas de controle, que não foram cobertas, apresentem coloração púrpuro-escura quando em contato com o iodo, pois contêm grande quantidade de amido. As folhas que foram parcialmente cobertas devem apresentar partes escuras (correspondentes às regiões que ficaram descobertas) e partes amareladas (correspondentes às regiões cobertas) quando em contato com o iodo, indicando, respectivamente, muita e pouca quantidade de amido armazenado. As folhas que permaneceram totalmente cobertas apresentarão coloração amarelo-clara quando em contato com o iodo, pois a ausência de luz dificultou o processo fotossintético, não havendo armazenamento de amido nessas folhas. Caso os estudantes obtenham resultados diferentes do esperado, é recomendado discutir com eles o que aconteceu, tentando identificar as possíveis razões das diferenças observadas. Os conhecimentos de Química estão presentes ao abordar as reações químicas envolvidas no processo, como a reação do amido com lugol ou a conversão do glicídio produzido na fotossíntese em sacarose e amido. A etapa que envolve o aquecimento da água deve ser realizada pelo professor. É muito importante que os grupos façam anotações sobre o que foi observado. As diferentes etapas da atividade podem ser registradas em fotografias ou vídeos, para posterior publicação no *blog* da escola ou nas redes sociais. Para enriquecer a atividade, é possível solicitar a elaboração de um relatório científico ao final do experimento. Assim, os estudantes vão se familiarizando com a confecção desse tipo de documento.

A Biologia no vestibular e no Enem

6. a) As bactérias concentram-se nas áreas iluminadas pelas radiações azul e vermelha porque é exatamente nessas faixas de radiação luminosa que a clorofila consegue absorver maior quantidade de energia, o que permite que a fotossíntese se processe mais intensamente. Devido à fotossíntese, há maior liberação de gás oxigênio nessas áreas, com maior oferta desse gás para a respiração aeróbica das bactérias.

b) As bactérias se distribuiriam por igual em toda a extensão da alga, uma vez que o feixe de luz branca contém todas as radiações luminosas do espectro; consequentemente, a liberação de gás oxigênio pela alga seria equivalente ao longo de seu comprimento.

CAPÍTULO 8
Fermentação e respiração aeróbica

Questão para exercitar o pensamento

17. A morte de pacientes que usavam DNP para fins de emagrecimento pode ser explicada pela alteração provocada no metabolismo energético das células. O DNP torna a membrana interna da mitocôndria permeável à passagem de íons H^+, inativando o processo de produção de energia realizado pela sintase do ATP. Como consequência, não há energia para fosforilar moléculas de ADP e produzir moléculas de ATP. A ausência de produção de ATP inviabiliza praticamente todos os processos metabólicos celulares.

Faça você mesmo!

18. A atividade é bastante simples e permite que os estudantes observem a produção de gás carbônico como consequência do processo de fermentação.

a) A garrafa de número 6 serve de controle, pois contém apenas água. Ela mostrará aos alunos que a fermentação não ocorre em água na ausência de leveduras e de substrato orgânico. Comente com os estudantes que, dependendo da variável testada, a garrafa que não contém essa variável deve ser usada como controle.

b) As garrafas de 1 a 5 permitem testar se a presença da levedura está relacionada com a produção de gás carbônico, pois essas cinco garrafas contêm levedura em diferentes condições.

c) A garrafa de número 1, comparada com a garrafa de número 2, permite verificar se a presença de açúcar é necessária para a produção de gás carbônico, pois a presença de açúcar é a única diferença entre as duas garrafas. Se não ocorrer formação de gás carbônico na garrafa 1, mas esse gás se formar na garrafa 2, os alunos poderão concluir que o açúcar é necessário no processo de fermentação.

d) As garrafas 2, 3 e 4 permitem verificar a influência da temperatura na produção de gás carbônico, pois elas contêm fermento e açúcar e a única variável é a temperatura. A garrafa 3 permite verificar a influência da baixa temperatura e a garrafa 4, a influência da alta temperatura, quando comparadas à garrafa 2, que é mantida à temperatura ambiente.

É um exercício multidisciplinar e permite trabalhar conhecimentos de Química, ao explicar como o CO_2 é produzido, e conhecimentos de Física, para explicar por que o balão se expande quando as garrafas contendo as leveduras são aquecidas. Como medida de segurança, recomendamos que a etapa que envolve o manuseio do fogo seja feita pelo professor.

A atividade pode ser enriquecida com a elaboração de um relatório científico. Nesse caso, vale recordar com os estudantes os itens que devem estar presentes: introdução, objetivos, materiais e métodos utilizados, resultados obtidos e, por fim, discussão, na qual serão apresentadas as conclusões do trabalho. Vale salientar a importância do grupo de controle em um experimento. Esse experimento pode ser apresentado em uma feira de ciências organizada pela escola.

A Biologia no vestibular e no Enem

8. a) As células que ficam na superfície da massa realizam a respiração aeróbica, e as que ficam no seu interior, devido à falta de gás oxigênio, realizam fermentação.

b) Ambas as reações produzem CO_2, que fica aprisionado na massa; com o aquecimento, o gás dilata-se e faz a massa aumentar de volume.

9. a) Nos mamíferos, a fermentação (lática) pode ocorrer nas células musculares em condições de falta de gás oxigênio e esforço intenso.

b) Pela fermentação, podemos obter pão, cerveja, queijo, iogurte, entre outros produtos.

10. a) A glicólise ocorre no citosol.

b) Nessa fase são gastos 2 ATP para ativar cada molécula de glicose, que, transformada em 2 ácidos pirúvicos, produz 4 ATP, ou seja, um saldo de 2 ATP.

11. a) O açúcar representa a fonte de energia para o levedo.

b) Na presença de gás oxigênio, o levedo utiliza o processo de respiração aeróbica, obtendo, a partir da glicose, uma quantidade maior de energia do que a obtida na fermentação que realiza em condições anaeróbicas; a maior eficiência na obtenção de energia pela respiração aeróbica favorece seu crescimento.

MÓDULO 4 REPRODUÇÃO E DESENVOLVIMENTO

CAPÍTULO 9
Tipos de reprodução, meiose e fecundação

Questões para exercitar o pensamento

11. O animal em questão apresenta 6 cromossomos em células diploides ($2n = 6$) e 3 cromossomos em células haploides ($n = 3$).

1. Anáfase II: os cromossomos estão migrando para polos opostos; cada um deles está constituído por uma única cromátide. **2.** Telófase I: os cromossomos, constituídos por duas cromátides cada, descondensam-se nos polos da célula, sendo envolvidos por uma carioteca. **3.** Prófase I (diplóteno): os cromossomos condensados emparelham-se dois a dois (homólogos); a carioteca ainda está presente e podem ser vistos quiasmas. **4.** Anáfase I: os cromossomos estão migrando para os polos da célula; cada um deles está constituído por duas cromátides. **5.** Metáfase II: número haploide de cromossomos dispostos na região mediana da célula.

12. A atividade permite perceber que, à medida que são acrescentadas novas informações ao conhecimento sobre determinado assunto, ocorrem mudanças na percepção das pessoas, bem como em suas opiniões. Estimule os estudantes na troca de informações com pessoas de gerações anteriores, valorizando-as como fonte de conhecimento. É importante acompanhar os estudantes na elaboração do roteiro da entrevista, pois um roteiro bem elaborado garantirá a qualidade do trabalho e das informações coletadas. As entrevistas podem ser gravadas. Em sala de aula, permita o compartilhamento de ideias entre os estudantes, estimulando a discussão sobre as mudanças na percepção da sexualidade ao longo do tempo. É possível publicar o material produzido pelos estudantes no *blog* da escola ou nas redes sociais.

Faça você mesmo!

13. A atividade permite que os estudantes visualizem a sequência do processo de meiose, incluindo a permutação. Incentive-os a usar a criatividade para escolher diferentes ferramentas visuais na simulação feita com massa de modelar, como sequência de fotografias, desenhos, animação etc. A atividade pode ser enriquecida se for realizada em colaboração com a disciplina de Arte. Para isso, é preciso que seja combinada previamente com o professor dessa disciplina.

Peça aos estudantes que redijam as respostas às questões propostas. Espera-se que eles compreendam que, na prófase I, ocorre uma sequência de eventos, sendo os principais: a condensação do DNA nos cromossomos, que passam a ser formados por duas cromátides-irmãs unidas pelo centrômero; o pareamento dos cromossomos homólogos; pode ocorrer a recombinação gênica e início da polimerização dos microtúbulos dos fusos. Mais informações sobre essa fase da meiose estão disponíveis no endereço eletrônico <www.ufrgs.br/biologiacelularatlas/nucleo3.htm>, acessado em abril de 2016. A permutação pode ser representada no modelo trocando-se um pedaço de um cromossomo, representado por uma cor, por um pedaço, localizado na mesma posição de outro cromossomo, que está representado com outra cor. Dessa forma, os dois cromossomos terão um pedaço de cor diferente, que representa a parte permutada. Nas animações disponíveis nos endereços eletrônicos <http://200.130.6.144/bitstream/handle/mec/20309/meiose.swf?sequence=1> e <http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/7614/meiose2D.swf?sequence=1>, é possível visualizar as fases e subfases da meiose. No material encontrado no endereço eletrônico <http://media.wix.com/ugd/b703be_e0ed5f9321e946689c0c746e63f42f21.pdf>, há uma atividade semelhante e são disponibilizados informações e conceitos que dão respaldo às discussões em sala de aula sobre o assunto. (*Sites* acessados em: abr. 2016.)

14. Combine com os estudantes qual será o meio de registro da atividade que pretendem usar (vídeo, fotografias etc.) e agende a data para que eles tragam os equipamentos necessários ou para que a escola os providencie. Os trabalhos finais poderão ser disponibilizados no *blog* da escola ou nas redes sociais. A animação disponível no endereço eletrônico <http://200.130.6.144/bitstream/handle/mec/20309/meiose.swf?sequence=1> (acesso em: abr. 2016) representa as fases da meiose e traz informações que podem dar respaldo às discussões em sala de aula sobre o assunto.

As questões podem ser respondidas no caderno ou registradas ao longo da dinâmica. Espera-se que os

estudantes percebam que o desenho 3 representa o pareamento dos cromossomos homólogos que ocorre na prófase I; o desenho 4 representa a separação dos cromossomos homólogos durante a anáfase I; o desenho 5 representa a separação das cromátides-irmãs; o desenho 6 simula a permutação, evento que permite que ocorra a recombinação dos genes, ampliando assim a variação gênica nos descendentes. Recorde o que foi falado sobre células haploides e diploides: células com pares de cromossomos homólogos recebem o nome de células diploides (do grego *diplos*, duplo) e são representadas por 2*n*; células que apresentam apenas um lote de cromossomos, como os gametas humanos, são chamadas células haploides (do grego *haplos*, simples) e representadas por *n*.

A Biologia no vestibular e no Enem

7. **a)** Na mitose conserva-se o número de cromossomos das células, que na espécie humana é de 46 cromossomos. Na meiose, esse número se reduz à metade, sendo de 23 cromossomos nos gametas humanos.

b) A meiose, ao reduzir o número cromossômico, permite a ocorrência de fecundação. Nesta, recompõe-se o número típico de cromossomos da espécie. A meiose também permite maior diversidade genética graças à separação aleatória dos cromossomos homólogos e à permutação.

8. **a)** A = metáfase mitótica, pois temos os quatro cromossomos com cada uma de suas cromátides presa a um dos polos da célula. B = metáfase II da meiose, pois temos apenas dois cromossomos com cada uma de suas cromátides presa a um dos polos da célula. C = metáfase I da meiose, pois temos cromossomos homólogos (com duas cromátides cada) emparelhados, formando bivalentes, cada um preso a um dos polos da célula.

b) A seta indica o centrômero, que mantém as cromátides-irmãs unidas até o início da anáfase da mitose ou a anáfase II da meiose e pelo qual o cromossomo se liga às fibras do fuso.

9. **a)** A célula tipo I é um zigoto (diploide), pois se origina da fusão de duas células tipo III. Estas últimas são, portanto, gametas (haploides). A célula tipo II é um esporo (haploide), pois se origina de um indivíduo diploide resultante do desenvolvimento do zigoto; os esporos originam indivíduos que produzem gametas (células tipo III).

b) O indivíduo X, originado do desenvolvimento do zigoto, é diploide e apresenta, portanto, 24 cromossomos em suas células (2*n* = 24). Os indivíduos Y e Z originam-se de esporos (células tipo II) e são, portanto, haploides, possuindo 12 cromossomos em suas células (*n* = 12).

CAPÍTULO 10
Desenvolvimento embrionário animal

Questões para exercitar o pensamento

11. Em A, as oito células que se formam após a terceira clivagem não diferem muito em tamanho; em B, as células que se formam no polo animal são muito menores que as do polo vegetativo. Essa diferença decorre do fato de o ovo de anfioxo ter pouco vitelo (ovo oligolécito), apresentando clivagens completas com formação de blastômeros quase de mesmo tamanho, enquanto o ovo de anfíbio tem vitelo concentrado em um dos polos (ovo heterolécito) e as clivagens, apesar de completas, dão origem a blastômeros grandes, ricos em vitelo (macrômeros), e blastômeros pequenos, quase sem vitelo (micrômeros).

12. Com relação ao esquema 1:

a) O embrião representado encontra-se em fase de gástrula jovem.

b) a_1: ectoderma; b_1: endoderma; c_1: arquêntero; d_1: blastóporo.

Com relação ao esquema 2:

a) O estágio de desenvolvimento que está se iniciando é o de nêurula.

b) a_2: ectoderma; b_2: mesoderma (futuro somito); c_2: arquêntero; d_2: celoma (início de formação); e_2: placa neural; f_2: notocorda em formação.

c) Ver figura 10.7 do capítulo, que mostra o esquema da nêurula com todos os processos finalizados.

Faça você mesmo!

13. Estimule os estudantes a escolher animais de grupos diferentes, para que, ao final, possam comparar o desenvolvimento embrionário em cada caso. É importante planejar a atividade com os estudantes para que cada grupo liste os materiais e equipamentos necessários para a confecção dos modelos e para o registro em fotos ou vídeo. As fotos e vídeos produzidos podem ser expostos na escola ou disponibilizados no *blog*.

No endereço eletrônico <http://noticias.cebimar.usp.br/editoria-divulgacao/72-desenvolvimento-embrionario-dos-ouricos-do-mar>, há informações sobre o desenvolvimento embrionário de ouriços-do-mar. Informações e imagens sobre o desenvolvimento embrionário humano podem ser encontradas em <www.ufpel.edu.br/biotecnologia/gbiotec/site/content/paginadoprofessor/uploadsprofessor/6940787fcd18f2bec47f93f89c2138f5.pdf?PHPSESSID=ac305ddf2e2eae902090e9fc5c9ae9d4> e <http://media.wix.com/ugd//362378_47f41b33594134352f9ce117e0026c16.pdf>. Este último apresenta também um comparativo do processo de clivagem em diferentes organismos. (*Sites* acessados em: abr. 2016.)

A Biologia no vestibular e no Enem

10. **a)** A: zigoto ou célula-ovo. B: mórula. C: blástula. D: gástrula. E: nêurula.

b) A célula-ovo ou zigoto, representada em A, divide-se sucessivamente por mitoses (clivagens), originando um aglomerado compacto de células, a mórula, representada em B. Com o aparecimento de uma cavidade interna, a mórula se transforma em blástula, representada em C. Intensas movimentações de células levam ao processo de gastrulação, com migração de células para o interior do embrião, originando a gástrula, representada em D, cuja cavidade interna é o arquêntero, que se comunica com o exterior através do blastóporo. A continuidade das movimentações celulares, a diferenciação de células e a formação de folhetos germinativos e estruturas diferenciadas no embrião dão origem à fase de nêurula, representada em E.

11. **a)** São o ectoderma, o mesoderma e o endoderma.

b) Os ossos originam-se do mesoderma; o encéfalo origina-se do ectoderma; os pulmões originam-se do endoderma.

12. **a)** A partir desse tipo de ovo surgem o âmnio (**c**), o alantoide (**e**) e o cório (**b**); uma estrutura correspondente ao saco vitelínico (**a**) já está presente em embriões de anfíbios e peixes.

b) A fecundação interna é outra adaptação reprodutiva à vida em terra firme.

13. **a)** O âmnio protege o embrião contra a dessecação e eventuais choques mecânicos.

b) O âmnio está presente em répteis, aves e mamíferos.

CAPÍTULO 11
Reprodução humana

Questões para exercitar o pensamento

18. Resposta pessoal.

19. **a)** H_1: FSH (hormônio estimulante do folículo); H_2: LH (hormônio luteinizante); A: estrógeno; B: progesterona.

b) O FSH estimula o desenvolvimento do folículo e a secreção de estrógeno.

c) O LH estimula a ovulação e o desenvolvimento do corpo-amarelo.

d) O estrógeno determina o aparecimento das características sexuais secundárias da mulher, tais como o desenvolvimento das mamas, o alargamento dos quadris e o acúmulo de gordura em determinados locais do corpo, características das formas femininas. Além disso, esse hormônio também induz o amadurecimento dos órgãos genitais e promove o impulso sexual.

e) A taxa elevada de progesterona exerce um efeito inibidor sobre a hipófise, que diminui a produção de FSH e LH. Com a queda de LH, o corpo-amarelo regride e deixa de produzir estrógeno e progesterona. Com a redução brusca das taxas desses dois hormônios ovarianos, a mucosa uterina se desprende e é eliminada na menstruação. Por outro lado, com a queda nas taxas de estrógeno e progesterona, a hipófise volta a produzir FSH, e um novo ciclo menstrual se inicia.

f) Por volta do 14º dia do ciclo menstrual, no qual ocorre a ovulação.

A Biologia no vestibular e no Enem

5. A nutrição é feita por meio da placenta, que comunica o embrião com o organismo materno, fazendo o intercâmbio de nutrientes da mãe para o feto e de excretas do feto para a mãe através do cordão umbilical.

CAPÍTULO 12
A diversidade celular dos vertebrados

Questão para exercitar o pensamento

31. Para a Biologia, o marco inicial da vida de um organismo com reprodução sexuada, no caso, um ser humano, é a formação do zigoto. É a partir da união dos cromossomos dos genitores no zigoto que surge uma entidade genética celular e original, que se desenvolve no organismo completo. No caso do desenvolvimento de uma pessoa, alguns argumentam que a vida teria início com a formação do feto, quando o novo ser adquire a aparência tipicamente humana; outros ponderam que o momento do nascimento é que seria o marco inicial da vida de um novo ser. Todas essas posições são controversas e dão margem a diferentes opiniões. Incentive os estudantes a reconhecerem os diversos pontos de vista e ressalte a importância de respeitar opiniões contrárias às deles.

A Biologia no vestibular e no Enem

14. Glândulas exócrinas são aquelas que lançam suas secreções para fora do corpo ou para a cavidade dos órgãos, como as glândulas salivares. Glândulas endócrinas são aquelas que lançam suas secreções diretamente no sangue, como a glândula tireóidea.

15. Uma das funções do sangue é levar gás oxigênio e nutrientes a todas as células. Estas, pela respiração celular, obtêm energia para realizar todas as funções.

HINO NACIONAL

Letra: Joaquim Osório Duque Estrada

Música: Francisco Manuel da Silva

Ouviram do Ipiranga as margens plácidas
De um povo heroico o brado retumbante,
E o sol da liberdade, em raios fúlgidos,
Brilhou no céu da Pátria nesse instante.

Se o penhor dessa igualdade
Conseguimos conquistar com braço forte,
Em teu seio, ó liberdade,
Desafia o nosso peito a própria morte!

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, um sonho intenso, um raio vívido
De amor e de esperança à terra desce,
Se em teu formoso céu, risonho e límpido,
A imagem do Cruzeiro resplandece.

Gigante pela própria natureza,
És belo, és forte, impávido colosso,
E o teu futuro espelha essa grandeza.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!

Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada,
Brasil!

Deitado eternamente em berço esplêndido,
Ao som do mar e à luz do céu profundo,
Fulguras, ó Brasil, florão da América,
Iluminado ao sol do Novo Mundo!

Do que a terra mais garrida
Teus risonhos, lindos campos têm mais flores;
"Nossos bosques têm mais vida",
"Nossa vida" no teu seio "mais amores".

Ó Pátria amada,
Idolatrada,
Salve! Salve!

Brasil, de amor eterno seja símbolo
O lábaro que ostentas estrelado,
E diga o verde-louro desta flâmula
- Paz no futuro e glória no passado.

Mas, se ergues da justiça a clava forte,
Verás que um filho teu não foge à luta,
Nem teme, quem te adora, a própria morte.

Terra adorada,
Entre outras mil,
És tu, Brasil,
Ó Pátria amada!

Dos filhos deste solo és mãe gentil,
Pátria amada,
Brasil!

De onde vem a nossa comida?

O sistema de produção e distribuição de alimentos pode promover justiça social e proteger o ambiente ou, ao contrário, gerar desigualdades sociais e ameaças aos recursos naturais e à biodiversidade. Precisamos buscar um sistema agroalimentar que não prejudique a vida das pessoas, nem o meio ambiente e nem a nossa saúde. A sustentabilidade também está nas escolhas que vão para a mesa!

Este livro didático é um **bem reutilizável** da escola e deve ser **devolvido em bom estado** ao final do ano para uso de outra pessoa no **próximo** período letivo.

ISBN 978-85-16-10521-1

9 788516 105211

FNDE MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

BRASIL GOVERNO FEDERAL

CÓDIGO DO LIVRO:
0196P18113101IM